



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

“Optimización de los procesos de coagulación, floculación y cloración
en la Junta Administradora de Agua Potable Regional Bayas”

**Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniera Química**

Autoras:

Margoth Elena Mora Loja

CI: 0107188153

Melissa Guadalupe Sagal Bustamante

CI: 0105358220

Directora:

Ing. Sonia Margoth Astudillo Ochoa

CI:0104044474

Cuenca, Ecuador

16-octubre-2019



Resumen:

Este proyecto se realizó en la Junta Administradora de Agua Potable Regional Bayas, ubicada en la parroquia Aurelio Bayas, perteneciente a la ciudad de Azogues. La junta de Bayas implementó un sistema de potabilización convencional, específicamente la construcción de un floculador de flujo horizontal y un sedimentador de alta tasa, los cuales entraron en operación a partir de octubre del 2018.

En este trabajo se realizó la optimización del proceso de coagulación y floculación, para lo cual fue necesario conocer la dosis correcta de sulfato de aluminio y de polímero que deben adicionarse en el agua cruda. Para ello fue necesario obtener los tiempos de retención realizando pruebas de trazadores de manera que se utilizó una solución saturada de cloruro de sodio y la lectura con un conductímetro. Una vez obtenidos los tiempos de retención se procedió a realizar el test de jarras, realizándose ensayos durante los meses de diciembre, enero y febrero, siendo en este último el mes en el que se registró más variación de turbiedad y color debido a la temporada de lluvias. Todo esto con el propósito de que el agua que se distribuye a la parroquia Bayas cumpla con los estándares indicados en la NORMA INEN 1108.

Otro alcance de este trabajo consistió en elaborar una propuesta para la utilización de cloro gas en lugar del hipoclorito de calcio usado actualmente.

Con estas adecuaciones se contribuye con el proyecto de vinculación que mantiene la Junta de Agua Potable de Bayas con la Facultad de Ciencias Químicas.

Palabras claves: Optimización. Coagulación. Floculación. Cloración. Dosis.



Abstract:

This project was carried out in the Junta Administradora de Agua Potable Regional de Bayas, located in the Aurelio Bayas parish, belonging to the city of Azogues. The Junta de Bayas implemented a conventional potabilization system, specifically the construction of a horizontal flow flocculator and a high rate sedimentator, which came into operation in October 2018.

In this work, the coagulation and flocculation process was optimized, for which it was necessary to know the correct dose of aluminum sulfate and polymer that must be added to the raw water. In order to do this, it was necessary to obtain the retention times by testing tracers so that a saturated solution of sodium chloride was used and the reading with a conductivity meter. Once the retention times were obtained, the jug test was carried out. Tests were carried out during the months of December, January and February, the latter being the month in which the greatest variation in turbidity and colour was registered due to the rainy season. All this with the purpose of the water that is distributed to the parish Bayas meets the standards indicated in the NORMA INEN 1108.

Another scope of this work consisted of elaborating a proposal for the use of chlorine gas instead of the calcium hypochlorite currently used.

These adjustments, the linking project maintained by the Junta de Agua Potable de Bayas with the Facultad de Ciencias Químicas.

Keywords: Optimization. Coagulation. Flocculation. Chlorination. Dose.



ÍNDICE

CAPITULO I	18
1. CONTENIDO TEÓRICO	18
1.1. El agua potable	18
1.1.1. Calidad del agua	18
1.1.2. Aspectos organolépticos.....	18
1.1.3. Aspectos físico químicos	18
1.2. Tratamiento de potabilización	20
1.2.1. Tratamientos preliminares.....	21
1.2.2. Procesos de clarificación.....	22
1.2.2.1. Coagulación	22
1.2.2.2. Floculación	25
1.2.2.3. Sedimentación.....	28
1.2.2.4. Filtración	28
1.2.2.5. Desinfección	29
CAPÍTULO II	33
2. DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN EN LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE REGIONAL BAYAS.....	33
2.1. Captación	33
2.2. Proceso de potabilización	34
2.2.1. Entrada del agua cruda	34
2.2.2. Proceso de coagulación	35
2.2.3. Proceso de floculación.....	36
2.2.4. Proceso de sedimentación	38
2.2.5. Filtración lenta.....	43
2.2.6. Filtración rápida	44
2.2.7. Etapa de desinfección	46
2.3. Laboratorio de control de calidad	48
CAPÍTULO III	49
3. METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN.....	49
3.1. Obtención de datos previos	49
3.2. Proceso experimental	50
3.2.1. Prueba de trazadores y tiempos de retención	50



3.2.2.	Pérdida de carga.....	51
3.2.3.	Gradiente de velocidad.....	53
3.2.4.	Prueba de jarras	55
3.2.5.	Medición de caudales de los dosificadores.....	57
3.3.	Organización de los resultados	57
3.3.1.	Construcción de curva de dosificación de coagulante.....	57
3.3.2.	Determinación de dosificación de polímero	58
CAPÍTULO IV.....		60
4.	DATOS EXPERIMENTALES	60
4.1.	Prueba de trazadores y tiempos de retención.....	60
4.2.	Pérdida de carga.....	60
4.2.1.	Mezcla rápida en el vertedero	60
4.2.2.	Mezcla rápida en la entrada del floculador	60
4.2.3.	Floculador mezcla lenta 1	62
4.2.4.	Floculador mezcla lenta 2.....	63
4.2.5.	Floculador mezcla lenta 3.....	65
4.3.	Prueba de jarras.....	66
4.4.	Caudales de dosificación	67
CAPÍTULO V.....		68
5.	PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CLORACIÓN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CLORO GASEOSO.....	68
5.1.	Dosificación de Cloro gas	69
5.2.	Ventajas del uso de cloro gaseoso.....	69
5.3.	Desventajas del cloro gas.....	70
5.4.	Costos	70
CONCLUSIONES		71
RECOMENDACIONES.....		73
BIBLIOGRAFÍA		74
ANEXOS		77
ANEXO I: PROCEDIMIENTOS		77
Procedimiento para la obtención del tiempo de retención en el vertedero y el canal de alimentación al floculador.....		77
Procedimiento de la prueba de trazadores.....		77
Procedimiento de la prueba de jarras		78



Procedimiento de medición de caudal de una válvula de dosificación	79
ANEXO II: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TRAZADORES	80
Mezcla rápida vertedero	80
Mezcla rápida entrada del floculador	80
Mezcla lenta 1	80
Mezcla lenta 2	81
Mezcla lenta 3	82
Sedimentación	83
ANEXO III: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE JARRAS	85
ANEXO IV: CAUDAL Y NÚMERO DE VUELTAS DEL DOSIFICADOR DE SULFATO DE ALUMINIO	89
ANEXO V: CAUDAL Y NÚMERO DE VUELTAS DEL DOSIFICADOR DE POLÍMERO	90
ANEXO VI: CURVA DE DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO	91
ANEXO VI: CAUDAL DE DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO	93
ANEXO VII: DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO SEGÚN EL NÚMERO DE VUELTAS DEL DOSIFICADOR	97
ANEXO IX: DOSIFICACIÓN DE POLÍMERO SEGÚN EL NÚMERO DE VUELTAS DEL DOSIFICADOR	98
ANEXO X: COSTO DEL EQUIPO DE CLORO GAS	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos preliminares	21
Tabla 2. Métodos de desinfección	29
Tabla 3. Detalles del floculador hidráulico horizontal	38
Tabla 4. Detalle del sedimentador	41
Tabla 5. Características de los módulos de sedimentación	41
Tabla 6. Características del ABS	42
Tabla 7. Detalle del sistema de recolección de agua sedimentada	42
Tabla 8. Relación viscosidad - temperatura	54
Tabla 9. Programa de trabajo para la prueba de jarras	66
Tabla 10. Resultados de la prueba de trazadores en la mezcla lenta 1	80
Tabla 11. Resultados de la prueba de trazadores en la mezcla lenta 2	81
Tabla 12. Resultados de la prueba de trazadores en la mezcla lenta 3	82
Tabla 13. Resultados de la prueba de trazadores en la sedimentación	83
Tabla 14. Resultados de la prueba de jarras con sulfato de aluminio	85
Tabla 15. Resultados de la prueba de jarras con polímero y sulfato de aluminio a 30 ppm	85



Tabla 16. Resultados de la prueba de jarras con sulfato de aluminio.....	85
Tabla 17. Resultados de la prueba de jarras con polímero y sulfato de aluminio a 25 ppm	85
Tabla 18. Resultados de la prueba de jarras con sulfato de aluminio.....	86
Tabla 19. Resultados de la prueba de jarras con polímero y sulfato de aluminio a 30 ppm	86
Tabla 20. Resultados de la prueba de jarras con sulfato de aluminio.....	86
Tabla 21. Resultados de la prueba de jarras con polímero y sulfato de aluminio a 90 ppm	87
Tabla 22. Resultados de la prueba de jarras con sulfato de aluminio.....	87
Tabla 23. Resultados de la prueba de jarras con polímero y sulfato de aluminio a 130 ppm	87
Tabla 24. Dosis óptimas de sulfato de aluminio	88
Tabla 25. Dosis óptimas de polímero.....	88
Tabla 26. Dosificación de sulfato de aluminio	89
Tabla 27. Dosificación de polímero	90
Tabla 28. Caudal de dosificación de sulfato de aluminio según el caudal de operación....	93
Tabla 29. Dosis de sulfato de aluminio expresado en número de vueltas	97
Tabla 30. Dosis de polímero expresado en número de vueltas	98
Tabla 31. Costo de la implementación del equipo de cloro gas	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de un proceso de potabilización convencional	21
Figura 2. Doble capa de una partícula coloidal.....	23
Figura 3. Mecanismo de acción de un floculante.....	26
Figura 4. Diagrama de planta de la Junta Administradora de Agua Potable de Bayas.....	34
Figura 5. Metodología para la optimización de los procesos de coagulación y floculación.....	49
Figura 6. Sitios de medición en la prueba de trazadores	51
Figura 7. Resalto de vertedero rectangular.....	51

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Pérdida de carga en el vertedero.....	52
Ecuación 2. Velocidad del flujo.....	52
Ecuación 3. Pérdida de carga debida a las vueltas	52
Ecuación 4. Radio hidráulico	52
Ecuación 5. Pérdida de carga en los canales	53
Ecuación 6. Pérdida de carga en el floculador	53
Ecuación 7. Gradiente de velocidad.....	53
Ecuación 8. Cálculo de alícuota	56



ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Planta de tratamiento de agua potable de la parroquia Bayas	33
Imagen 2. Entrada de agua cruda	35
Imagen 3. Tanque de solución de Sulfato de aluminio al 2,5% P/V	36
Imagen 4. Dosificación de sulfato de aluminio	36
Imagen 5. Floculador vertical usado anteriormente	37
Imagen 6. Floculador horizontal que se usa actualmente	37
Imagen 7. Sedimentadores usados antes de la remodelación de la planta	39
Imagen 8. Sedimentadores usados actualmente	40
Imagen 9. Floculadores y sedimentadores nuevos	40
Imagen 10. Lechos de arena para filtración lenta	44
Imagen 11. Filtración Lenta	44
Imagen 12. Prefiltros de grava	45
Imagen 13. Batería de filtros	46
Imagen 14. Cuarto de cloración	47
Imagen 15. Dosificación de hipoclorito de calcio	47
Imagen 16. Tanque de almacenamiento de agua tratada	48
Imagen 18. Equipo para prueba de jarras	55
Imagen 19. Sistema de cloro gas	68

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Determinación de la velocidad de agitación requerida para diferentes gradientes y tipos de jarras utilizadas	55
Gráfica 2. Resultados de la prueba de trazadores en mezcla lenta 1	81
Gráfica 3. Resultados de la prueba de trazadores en la mezcla lenta 2	82
Gráfica 4. Resultados de la prueba de trazadores en la mezcla lenta 3	83
Gráfica 5. Resultados de la prueba de trazadores en la sedimentación	84
Gráfica 6. Curva de dosificación de sulfato de aluminio desde 0 UPC hasta 350 UPC	91
Gráfica 7. Curva de dosificación de sulfato de aluminio desde 0 UPC hasta 1700 UPC	92



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Margoth Elena Mora Loja en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Optimización de los procesos de coagulación, floculación y cloración en la Junta Administradora de Agua Potable Regional Bayas", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 16 de octubre del 2019.

Margoth Elena Mora Loja

C.I: 0107188153



Cláusula de Propiedad Intelectual

Margoth Elena Mora Loja, autora del trabajo de titulación "Optimización de los procesos de coagulación, floculación y cloración en la Junta Administradora de Agua Potable Regional Bayas", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 16 de octubre del 2019

Margoth Elena Mora Loja

C.I: 0107188153



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo Melissa Guadalupe Sagal Bustamante en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Optimización de Los Procesos de coagulación, floculación y cloración en la Junta Administradora de Agua Potable Regional Bayas", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 16 de octubre de 2019

Melissa Guadalupe Sagal Bustamante

C.I: 0105358220



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo Melissa Guadalupe Sagal Bustamante, autora del trabajo de titulación "Optimización de los procesos de coagulación, floculación y cloración en la Junta Administradora de Agua Potable Regional Bayas", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 16 de octubre de 2019

Melissa Guadalupe Sagal Bustamante

C.I: 0105358220



AGRADECIMIENTO

Primero a Dios porque es el ser que ilumina mi vida y me permitió realizar este proyecto, así como estar ahora escribiendo estas líneas, gracias porque cuando se pide con el corazón siempre concede todos los deseos.

A mi mami Inés por todo su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, todos mis logros siempre van a ser dedicados a ella, porque es ella la persona que confía en mí, aunque ni yo misma lo haga, la que siempre se da tiempo para estar presente en todos los acontecimientos importantes de mi vida, así como en mis fracasos levantándome con sus sabios consejos y su inmenso cariño, gracias por ayudarme a ser mejor persona y la profesional que siempre desee.

A mi papi Germán porque por brindarme su cariño, también para hacerme ver mis errores gracias a usted porque siempre confió en mí y sé que a la distancia siempre estará orgulloso de su hija.

A mis hermanos Pablo, Pilar, Marco y de manera especial a mi hermana Nubita mi mejor amiga siempre juntas desde niñas hasta ahora que te das el tiempo para preocuparte por todos los detalles y aspectos de mi vida gracias de verdad por compartir conmigo esta etapa.

A mis sobrinos Maite, Anahí, Génesis, Valentina, Dara, Dominick, espero que algún día lean esto y que sepan que los quiero mucho.

A mis compañeras de clases que se convirtieron en mis amigas a Fanny, Ana y Mariuxi, con las cuales pase momentos divertidos y tristes a lo largo de mi etapa universitaria.

Por último, quiero agradecer al Ing. Juan Bermeo por brindarme su apoyo para realizar este trabajo, así como los conocimientos brindados cuando hacía mis practicas pre profesionales.

Margoth



AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios por guiar mi camino.

A mis padres, Lourdes y Julio, por su amor incondicional y por enseñarme el valor del trabajo honesto.

A mis hermanos Fátima y Efraín, les debo su cariño y compañía, necesarios para orientarme en cada etapa de mi vida.

Expreso mi agradecimiento a mis profesores por todos los conocimientos y el crecimiento profesional que he alcanzado gracias a ellos.

Melissa

Agradecemos a la Junta Administradora de Agua Potable Regional Bayas, en especial al Ing. Edgar Gallegos, por la disponibilidad y por los recursos necesarios para la realización de este trabajo. Así mismo a EMAPAL E.P. por la prestación del equipo para prueba de jarras y del laboratorio para el desarrollo del proyecto.

Margoth y Melissa



DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con cariño a mis padres, hermanos, sobrinos y amigos de toda la vida por estar siempre apoyándome con sus buenas energías durante toda esta etapa universitaria.

Margoth



DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres por la confianza depositada en mí, por el esfuerzo arduo a fin de ayudarme a cumplir mis sueños y a mis sobrinos Adam y Johan por llevar alegría a mis días.

Melissa



OBJETIVOS

Objetivo General

- Optimizar los procesos de coagulación, floculación y cloración en la Junta Administradora de Agua Potable Regional Bayas en el nuevo sistema convencional.

Objetivos Específicos

- Determinar los tiempos de retención de la mezcla rápida, del floculador horizontal y del sedimentador mediante prueba de trazadores.
- Construir una curva de dosificación del coagulante sulfato de aluminio mediante ensayos en el equipo para prueba de jarras.
- Determinar la dosis óptima de polímero empleada para garantizar un proceso correcto en la etapa de floculación.
- Elaborar una propuesta para la utilización de cloro gas en el proceso de cloración.



CAPITULO I

1. CONTENIDO TEÓRICO

1.1. El agua potable

El agua potable es aquella que ha recibido un tratamiento para poder ser consumida por el ser humano. (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108, 2014). El agua destinada a este fin debe cumplir con normas establecidas, para garantizar su inocuidad, es decir, estar libre de microorganismos patógenos, especies tóxicas o nocivas para la salud, y ser organolépticamente adecuada para el consumidor. (Chulluncuy, Tratamiento de agua para consumo humano, 2011)

1.1.1. Calidad del agua

Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas que debe poseer el agua para un determinado uso. (Lozano, Potabilización del Agua, 2015) La complejidad del tratamiento de potabilización depende de las características del agua cruda y de la calidad que se desea alcanzar.

1.1.2. Aspectos organolépticos

- **Olor y sabor**

El olor y el sabor sirven para evaluar la calidad del agua, así como la aceptación por parte del consumidor. (Romero, Calidad del agua, 2002). Al olor se lo asocia a sustancias orgánicas, mientras que al sabor con sustancias inorgánicas. La presencia de olor y sabor en el agua potable se puede deber a tres condiciones: cambios bruscos en la calidad de las fuentes abastecedoras, fallas en el tratamiento de potabilización o corrosión en la red de distribución. Los dos parámetros se miden con el criterio de presencia o ausencia. (Lozano, Potabilización del Agua, 2015)

1.1.3. Aspectos físico químicos

- **Turbiedad**

Según el INEN en la Norma Técnica ISO 7027, la turbiedad es la disminución de la transparencia de un líquido debida a la presencia de impurezas suspendidas en el mismo. La turbiedad en el agua está causada por materiales coloidales en suspensión, tales como arcilla, fango, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos. (AWWA, Calidad y Tratamiento del Agua, 2002)



El método nefelométrico es el más usado para la determinación de la turbiedad. Según este método se compara la intensidad de la luz dispersada por la muestra con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión estándar de un polímero de formacina. Los resultados se expresan en unidades de turbidez nefelométrica (NTU). (Romero, Calidad del agua, 2002)

- **Color**

Se define como color aparente al color que presenta la muestra original, mientras que el color verdadero es aquel que presenta la muestra una vez que se ha removido la materia en suspensión, es decir que se debe únicamente a sustancias en solución. (Rodríguez, Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable, 2008). Los factores que causan color en el agua pueden ser iones metálicos como hierro y manganeso, ácidos húmicos, plancton, componentes disueltos de vegetales, bacterias de hierro y azufre, y residuos industriales. La turbidez aumenta el color aparente pero no el verdadero. (AWWA, Calidad y Tratamiento del Agua, 2002)

La determinación del color se realiza por comparación con soluciones estándares preparadas a partir de una solución patrón de K_2PtCl_6 , la cual debe contener 500 mg/L de Pt y 250 mg/L de cobalto. Los resultados se expresan en unidades de color. La unidad de color equivale al color producido por un mg/L de platino, en la forma de ión cloroplatinato. (Romero, Calidad del agua, 2002)

- **pH**

Expresa la concentración de iones hidronio $[H^+]$ respecto de la concentración de iones hidroxilo $[OH^-]$. (Lozano, Potabilización del Agua, 2015) Influye en fenómenos como la corrosión y las incrustaciones de las tuberías y accesorios que forman parte del proceso y más adelante en la red de distribución. También, es determinante en los procesos de coagulación y desinfección en el tratamiento del agua. Se determina por potenciometría y se expresa en unidades de pH. (Pérez, Evaluación de la sustitución del agente coagulante – sulfato de aluminio en el proceso actual de coagulación – floculación, 2017)

- **Alcalinidad**

La alcalinidad de un agua se refiere a su capacidad para neutralizar ácidos y para reaccionar con iones hidrógeno, ocurre por la presencia de iones carbonato, hidróxidos y bicarbonato. Se determina en unidades de mg/L de carbonato de calcio $CaCO_3$, realizando



titulación con una solución de ácido sulfúrico H_2SO_4 al 0.02N. Donde, los iones H^+ que provienen de esa solución neutralizan los iones OH^- que se encuentran libres, utilizando indicadores para su determinación. Si el pH del agua está entre 4.3 y 8.3 la alcalinidad se debe a bicarbonatos y carbonatos. Y, si el pH del agua es menor de 4.3 no hay alcalinidad. (Pérez, Evaluación de la sustitución del agente coagulante – sulfato de aluminio en el proceso actual de coagulación – floculación, 2017)

- **Acidez**

Se define como la capacidad para neutralizar bases y reaccionar con iones hidroxilo. Su determinación es importante debido a su carácter corrosivo. La causa generalmente es el CO_2 el cual puede generarse por las siguientes condiciones (Romero, Calidad del agua, 2002):

- Reacción de los coagulantes usados
- Oxidación de materia orgánica
- Disolución de carbono atmosférico

La acidez se determina por titulación con solución de NaOH 0,02 N e indicadores y se expresa en mg/L de Dióxido de carbono CO_2 . (Romero, Calidad del agua, 2002)

1.2. Tratamiento de potabilización

Es el conjunto de operaciones y procesos que modifican las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas del agua cruda, con el propósito de transformarla en agua potable. Un sistema de potabilización convencional, está constituido por operaciones preliminares para preparar al agua para su tratamiento, y por procesos de clarificación, que corrigen las características que hacen al agua no apta para su consumo. (Lozano, Potabilización del Agua, 2015)

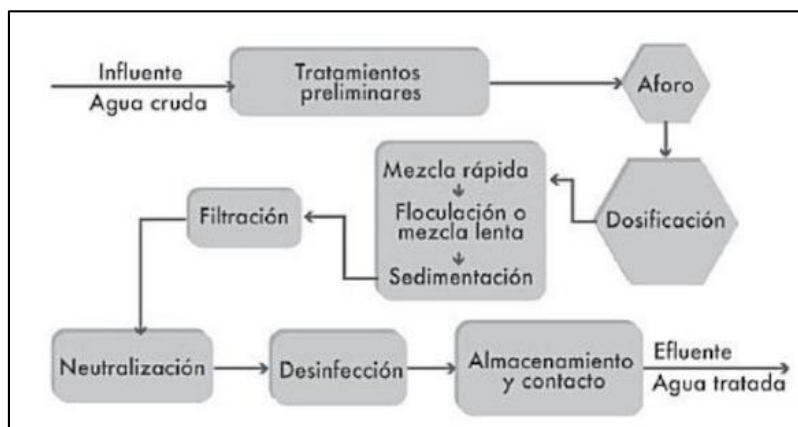


Figura 1. Esquema general de un proceso de potabilización convencional

Fuente: Lozano, Potabilización del Agua, 2015

1.2.1. Tratamientos preliminares

Los pretratamientos tienen por objeto separar del agua la mayor cantidad posible de las materias que, por su naturaleza o tamaño, pueden ocasionar problemas en los tratamientos posteriores.

Tabla 1. Tratamientos preliminares

Desbaste	Eliminación de objetos grandes arrastrados por el agua como hojas y ramas, mediante rejas. Evita obstrucciones en las instalaciones.
Predecantación	Disminución de arcillas, limos y arena, con el fin de facilitar los procesos de clarificación y evitar daños en los equipos.
Oxidación	Remoción de sustancias que generan olor y sabor en el agua, como Fe, Mn y compuestos orgánicos.

Fuente: Lozano, Potabilización del Agua, 2015



1.2.2. Procesos de clarificación

1.2.2.1. Coagulación

La coagulación es un proceso que incrementa la atracción entre las partículas de una suspensión acuosa. Consiste en la desestabilización de las partículas coloidales por medio de la adición de los coagulantes químicos. (AWWA, Calidad y Tratamiento del Agua, 2002)

- **Coloides**

Los coloides son sólidos finamente divididos que no sedimentan por la simple acción de la gravedad, pero que pueden removerse del agua mediante coagulación, filtración o acción biológica. (Rodríguez, Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable, 2008)

- **Carga eléctrica**

Estas partículas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situada sobre su superficie, la cual atrae iones positivos del agua formando una capa rígida de carga positiva. Después estos cationes atraen a su alrededor iones negativos que están acompañados de una débil cantidad de iones positivos, constituyendo una capa difusa. A esta formación se denomina doble capa. (Aguilar M.I, Tratamiento Físico – Químico de Aguas Residuales, Coagulación – Floculación, 2002)

- **Potencial zeta**

Es el potencial electrostático entre la superficie de la partícula y la masa de la solución. El potencial es máximo en la superficie de la partícula y disminuye conforme crece la distancia desde la superficie. (AWWA, Calidad y Tratamiento del Agua, 2002)

- **Desestabilización coloidal**

La estabilidad de los coloides depende de la resultante entre las fuerzas de atracción o fuerzas de Van der Waals y las de repulsión o potencial z. Para lograr la aglomeración de las partículas se debe reducir la fuerza de repulsión, de tal manera que las fuerzas de atracción prevalezcan y se logre la colisión de partículas. (Romero, Calidad del agua, 2002)

El potencial zeta disminuye añadiendo iones de carga eléctrica contraria a la de los coloides que hay que remover, mientras mayor sea la valencia del ion que se añade, mayor será su poder de coagulación, de ahí que las sales de aluminio o hierro son las más utilizadas como coagulantes. (Rodríguez, Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable, 2008)

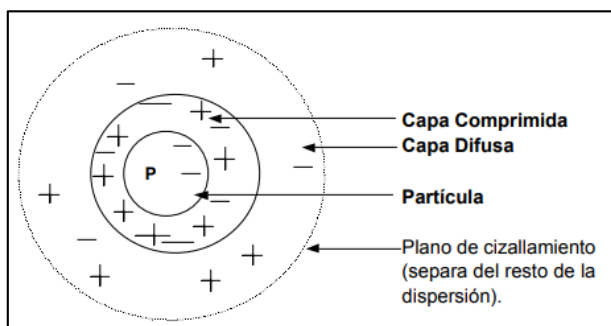


Figura 2. Doble capa de una partícula coloidal
Fuente: Andía, Coagulación y Floculación, 2000

- **Sustancias coagulantes**

Son compuestos de hierro o aluminio que provocan la coagulación de los coloides al ser agregados al agua. (Romero, Calidad del agua, 2002)

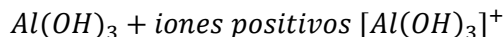
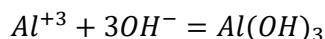
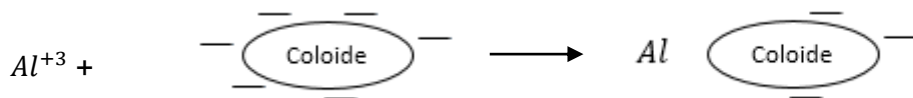
Algunas sustancias utilizadas como coagulantes son (Andía, Coagulación y Floculación, 2000):

- Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$
- Aluminato de Sodio $NaAlO_2$
- Cloruro de Aluminio $AlCl_3$
- Cloruro Férrico $FeCl_3$
- Sulfato Férrico $Fe_2(SO_4)_3$
- Sulfato Ferroso $FeSO_4$

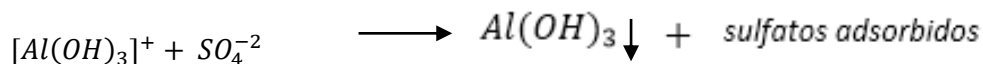
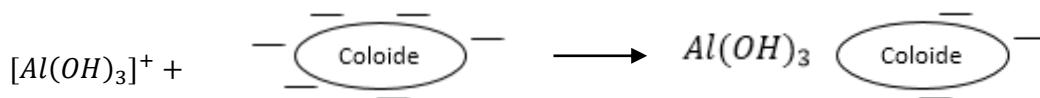
- **Sulfato de aluminio**

Es el coagulante estándar más empleado en tratamiento de aguas. En general se presenta con la fórmula $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ y con peso molecular de 600. Comercialmente se encuentra en polvo, molido, granulado y en forma líquida. (Romero, Calidad del agua, 2002)

Al adicionar la solución de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{+3} y SO_4^{-2} . El Al^{+3} se combina con coloides de carga negativa y neutraliza parte de la carga reduciendo el potencial eléctrico hasta que las partículas se puedan unir. El Al^{+3} también se combina con los OH^- del agua formando hidróxido de aluminio. (Romero, Calidad del agua, 2002)



El hidróxido de aluminio coloidal adsorbe iones positivos en solución para formar un sol con carga positiva, el cual neutraliza la carga negativa de los coloides y complementa la aglomeración. El exceso de sol de hidróxido de aluminio precipita mediante los iones sulfatos y otros iones negativos presentes. (Romero, Calidad del agua, 2002)



Los coloides también son barridos por los precipitados de $Al(OH)_3$ formados, resultando atrapados dentro de los flocs. (AWWA, Calidad y Tratamiento del Agua, 2002)

- **Consideraciones de una coagulación con sulfato de aluminio**

- **Tipo de contaminantes:** Los contaminantes deben ser compatibles con el coagulante, ya que algunos tienden a reaccionar mejor con coagulantes de hierro y otros con sales de aluminio. (Pérez, Evaluación de la sustitución del agente coagulante – sulfato de aluminio en el proceso actual de coagulación – floculación, 2017)
- **Turbidez:** El aumento o disminución de partículas coloidales en el agua variará la dosis de coagulante requerida para removerlas. (Romero, Calidad del agua, 2002)



- **pH:** Afecta la solubilidad de los precipitados formados por el aluminio, el tiempo requerido para la formación del floc y la carga sobre las partículas coloidales. (Romero, Calidad del agua, 2002) Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0. (Andía, Coagulación y Floculación, 2000)
- **Alcalinidad:** Es uno de los factores por considerar en la coagulación, ya que facilita la formación de hidróxido de aluminio. (Restrepo, Evaluación de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable, 2009)
- **Temperatura:** Temperaturas muy elevadas desfavorecen la coagulación. La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la variación de la densidad del agua que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta. (Andía, Coagulación y Floculación, 2000)
- **Dosificación:** Es importante que el sulfato de aluminio se distribuya sobre toda la masa de agua durante la mezcla rápida, de manera que exista el mayor contacto con todas las partículas coloidales. Esto se logra a través de una mezcla instantánea en un periodo no mayor a diez segundos. No se recomienda exceder la dosis de coagulante ya que el fenómeno puede revertirse y provocar nuevamente problema de turbiedad y color. (Romero, Calidad del agua, 2002)
- **Presencia de aluminio residual:** La OMS, sobre el contenido de aluminio en el agua potable proveniente de plantas de tratamiento, establece un máximo de 0,1 mg/l para grandes instalaciones y 0,2 mg/l para pequeñas. (AEA, Aluminio y Salud, 2008) Ya que además de transferir efectos visuales y de sabor al agua, se considera causante de efectos degenerativos del sistema nervioso central como la enfermedad de Alzheimer. (AWWA, Calidad y Tratamiento del Agua, 2002)

1.2.2.2. Floculación

En esta etapa se completa la aglomeración de las partículas y el crecimiento de los flocs hasta que adquieran la masa adecuada para descender por gravedad. (Romero, Calidad del agua, 2002) El objetivo de la floculación es la interrelación de las partículas para formar agregados que pueden ser eficientemente removidos. (AWWA, Calidad y Tratamiento del Agua, 2002) Se ve favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y no vuelven a recuperar su tamaño óptimo. (Pérez, Evaluación de la sustitución del agente coagulante – sulfato de aluminio en el proceso actual de coagulación – floculación, 2017)

- ***Tipos de floculación***

La floculación puede darse de dos maneras (Lorenzo - Acosta, Estado del Arte del Tratamiento de aguas por coagulación – Floculación, 2006):

- Ortocinética: O inducida por fuerzas externas como paletas giratorias.
- Pericinética: Es la promovida dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas debido el movimiento Browniano.

- ***Floculantes***

Los coadyuvantes de coagulación o floculantes son polímeros que actúan de puente o unión para captar partículas en suspensión. (Sánchez, Evaluación de la sustitución del agente coagulante – sulfato de aluminio en el proceso actual de coagulación – floculación, 2007)

Como se observa en la Figura 3, el mecanismo de acción del polímero sucede en dos etapas (Sánchez, Tratamientos combinados físico – químicos y de oxidación para la depuración de aguas residuales de la industria corchera, 2007):

- La neutralización de la carga, ya que el polímero posee una carga opuesta a la de las partículas coloidales.
- La creación de puentes, en donde la cadena del polímero es adsorbida por una partícula, extendiéndose lo suficiente para que la cadena sea adsorbida por otras partículas, constituyendo un floc que crece formando puentes entre partículas hasta alcanzar el tamaño óptimo.

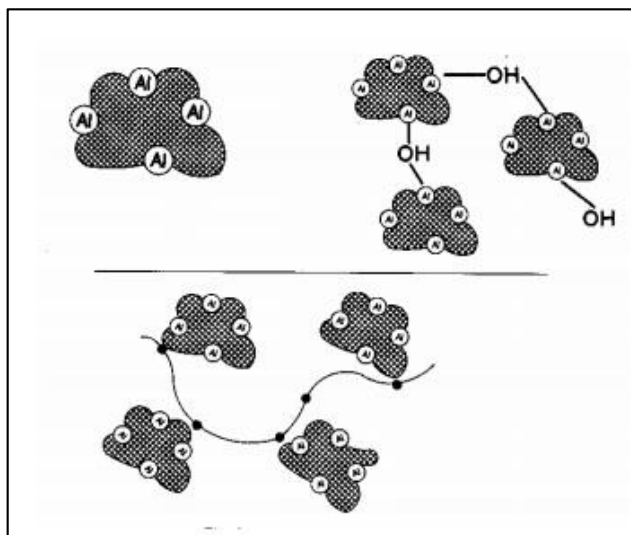


Figura 3. Mecanismo de acción de un floculante



Fuente: Sánchez, Tratamientos combinados físico – químicos y de oxidación para la depuración de aguas residuales de la industria corchera, 2007

- **Polielectrolitos coagulantes**

Son ayudas de coagulación usadas para optimizar la coagulación, permitiendo formar un floc más fuerte y más sedimentable, soportar cambios de temperatura, disminuir la cantidad de coagulante requerido y disminuir la cantidad de lodo producido. (Romero, Calidad del agua, 2002)

Los polielectrolitos coagulantes o polímeros son compuestos orgánicos sintéticos de alto peso molecular que tienden a absorberse en la superficie de las partículas de una solución acuosa. (AWWA, Calidad y Tratamiento del Agua, 2002)

Los polielectrolitos se clasifican como catiónicos, aniónicos y no iónicos. Los catiónicos, generalmente poliacrilamidas catiónicas y poliamidas, son polímeros que se disuelven produciendo iones de carga positiva. Se pueden utilizar como coagulante principal. Los aniónicos por su parte liberan iones de carga negativa, se usan para remover sólidos de carga positiva. Entre ellos están los polímeros de acrilamida – acrilato. Los polielectrolitos no iónicos, como las poliacrilamidas, producen cationes y aniones, también se pueden usar como coagulante, aunque requiere dosis grandes. Las dosis normales de polímeros catiónicos y aniónicos son de 0,1 a 1 mg/L. Y para polímeros no iónicos de 1 a 10 mg/L. (Romero, Calidad del agua, 2002)

- **Factores que condicionan la floculación**

Se tienen en cuenta los siguientes factores (Sánchez, Tratamientos combinados físico – químicos y de oxidación para la depuración de aguas residuales de la industria corchera, 2007):

- **Dosis óptima:** es la cantidad de polímero que puede ser adsorbida por los sólidos, sin generar rotura de los flóculos.
- **Agitación:** debe ser rápida durante la dosificación y dispersión del polímero, con el objeto de generar mayor colisión entre partículas y cadenas poliméricas, a fin de lograr una floculación homogénea en todos los puntos con flóculos de tamaño uniforme. Una vez iniciado el crecimiento de los flóculos se debe reducir la velocidad de agitación para evitar la rotura de los mismos.



- **Peso molecular del polímero:** Determina la eficacia de la floculación. A mayor peso molecular, mayor adsorción de partículas, se optimiza la dosis de polímero y aumenta la velocidad de sedimentación.
- **pH:** afecta las cargas presentes en la superficie de los sólidos, por lo que el polímero puede no ser adsorbido por ellas. Los polímeros aniónicos trabajan con pHs entre 7 y 14; los catiónicos a pHs entre 4 y 8; y los no iónicos a pH 6.
- **Temperatura:** el aumento de temperatura incrementa las colisiones del medio, lo que afecta a la adsorción y desfavorece el crecimiento de los flocs.

- **Floculadores**

El propósito de un floculador es promover el crecimiento de los flóculos y su conservación mediante la mezcla lenta, lo cual puede lograrse mediante dispositivos hidráulicos o mecánicos (Lozano, Potabilización del Agua, 2015):

- **Floculadores hidráulicos:** A través de tabiques o pantallas obligan al agua a seguir cierto recorrido, los verticales de arriba abajo y los horizontales en zigzag.
- **Floculadores mecánicos:** el movimiento es inducido mediante una paleta anclada a un motor.

1.2.2.3. Sedimentación

Esta operación unitaria permite la remoción de las partículas en suspensión en el agua por medio de la fuerza de la gravedad en determinado tiempo de retención, con el objetivo de remover la mayor cantidad de partículas y mejorar el proceso de filtración. (Pérez, Evaluación de la sustitución del agente coagulante – sulfato de aluminio en el proceso actual de coagulación – floculación, 2017)

1.2.2.4. Filtración

En general, se considera como el paso de un fluido a través de un medio poroso que retiene la materia que se encuentra en suspensión. Los filtros de tratamiento de agua generalmente son abiertos, y el medio poroso suele ser arena, arena + antracita o bien carbón activo en grano. (Casero, Módulo IV: Abastecimientos y Saneamientos Urbanos, 2008)

La filtración puede ser (Marín, Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos, 2003):



- **Filtración lenta:** se trabaja con caudales entre 5 a 30 m³/día. Se aplica para aguas sin tratamientos previos. Favorecen el crecimiento biológico que eliminan contaminantes orgánicos.
- **Filtración rápida:** la velocidad de filtración opera de 4 a 50 m³/día. No permite el crecimiento biológico. Combinado con coagulación y decantación da los mejores resultados.

1.2.2.5. Desinfección

La desinfección del agua consiste en la exterminación de los organismos patógenos que pueda contener, tales como bacterias, virus, protozoarios y helmintos. (CNA, Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento, 2007) Con este proceso se garantiza que el agua esté libre de cualquier organismo que pueda transmitir enfermedades al consumidor. (González, Comparación del proceso de desinfección utilizando hipoclorito de calcio (HTH) y el sistema de generación in situ de hipoclorito de sodio, 2007).

- **Métodos de desinfección**

Puede realizarse por métodos físicos o químicos (CNA, Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento, 2007):

Tabla 2. Métodos de desinfección

Métodos Físicos	Filtración
	Temperatura
	Sedimentación
	Radiación (solar, UV, Gamma)
	Procesos electrolíticos
Métodos Químicos	Yodo
	Bromo
	Plata ionizada
	Ozono



	Cloro
--	-------

Fuente: CNA, Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento, 2007

- **Cloración**

Es el método de desinfección más usado a nivel mundial, pues el cloro es un desinfectante muy efectivo y además barato. (Colin Baird, Química Ambiental, 2001) Las formas de cloro que se utilizan para la desinfección del agua incluyen cloro gaseoso, cal clorada, hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio. El cloro y sus derivados son preferidos como agentes desinfectantes debido a (Casero, Módulo IV: Abastecimientos y Saneamientos Urbanos, 2008):

- Tienen un amplio espectro germicida.
- Pueden medirse fácilmente y vigilarse en las redes después que el agua ha sido tratada y entregada a los usuarios.
- El equipo para la dosificación es sencillo y confiable
- Previenen y destruyen olores
- Eliminan el hierro y el color.

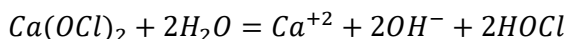
Sin embargo, también presenta ciertas desventajas si no se maneja correctamente: (Romero, Calidad del agua, 2002):

- Es corrosivo en solución
- Al combinarse con fenoles originan olores desagradables
- Formación de trihalometanos, considerados agentes cancerígenos.

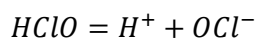
- **Hipoclorito de calcio**

El hipoclorito de Calcio puro $Ca(ClO)_2$ tiene de 60 a 70 por ciento de contenido disponible de cloro y se conserva durante más de un año bajo condiciones adecuadas de almacenamiento. Está disponibles en forma granular o de tabletas. Es un buen desinfectante, bactericida, algicida, y fungicida. (González, Comparación del proceso de desinfección utilizando hipoclorito de calcio (HTH) y el sistema de generación in situ de hipoclorito de sodio, 2007)

Cuando el hipoclorito de calcio entra en contacto con el agua ocurre la formación de ácido hipocloroso.



El ácido hipocloroso es un ácido débil, que se disocia moderadamente, pero en cantidad suficiente para disminuir el pH del agua (CNA, Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento, 2007)



Entre un pH de 6.5 y 8.5 la disociación del ácido hipocloroso es incompleta y coexiste con el radical hipoclorito OCl^- . La suma del $HOCl$ y del OCl^- es el llamado cloro libre residual. Debido a que la eficiencia de desinfección del $HOCl$ es de 40 a 80 veces mayor que la del OCl^- , se prefiere la cloración a pHs ligeramente ácidos. (CNA, Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento, 2007)

- **Factores que influyen en la cloración**

En el proceso de cloración influyen los siguientes factores:

- 1) **Tiempo de contacto:** el efecto de desinfección es más completo cuando los desinfectantes permanecen más tiempo en contacto con el agua. Debe ser como mínimo de 10 a 15 minutos, aunque es preferible dejar transcurrir el mayor tiempo posible para lograr una desinfección efectiva. (CNA, Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento, 2007)
- 2) **Temperatura:** al descender la temperatura, el cloro es más estable, pero disminuye la velocidad de desinfección, por lo que se deben corregir las dosis. (CNA, Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento, 2007)
- 3) **Naturaleza del agua a ser desinfectada:** si el agua contiene materia particulada, especialmente de naturaleza coloidal y orgánica, el proceso de desinfección es generalmente obstaculizado. (González, Comparación del proceso de desinfección utilizando hipoclorito de calcio (HTH) y el sistema de generación in situ de hipoclorito de sodio, 2007)
- 4) **El pH del agua:** afecta la formación de cloro residual. Mientras más alcalina sea el agua se necesitan mayores dosis a la misma temperatura y tiempo de contacto. (CNA, Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento, 2007)
- 5) **Dosificación:** una buena mezcla asegura la adecuada dispersión y efecto del desinfectante a través de toda la masa de agua. (González, Comparación del



proceso de desinfección utilizando hipoclorito de calcio (HTH) y el sistema de generación in situ de hipoclorito de sodio, 2007)

CAPÍTULO II

2. DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN EN LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE REGIONAL BAYAS

La planta potabilizadora de agua potable perteneciente a la parroquia Bayas, se encuentra ubicada en el sector denominado Mahuarcay a 2780 msnm. Fue construida en el año de 1998 y trabajaba con filtración lenta. En el año 2011 se construyeron unidades de coagulación, floculación y de filtrado rápido. En el mes de junio del año 2018, la planta construyó un floculador hidráulico de flujo horizontal, así como también las unidades de sedimentación y filtración, buscando así mejorar el proceso de potabilización del agua, facilitando también el lavado y mantenimiento de los mismos.

La Junta Administradora de Agua Potable de la Parroquia Bayas, actualmente ofrece sus servicios de agua potable a diez sectores pertenecientes a la parroquia abasteciendo a 3000 usuarios aproximadamente.



Imagen 1. Planta de tratamiento de agua potable de la parroquia Bayas
Fuente: Autoras

2.1. Captación

El abastecimiento de la planta de tratamiento de Bayas proviene de 4 diferentes puntos siendo estos: el cerro de Pillzho el cual se encuentra a 7 km de distancia de la planta, la quebrada de Chagrarchazca ubicada a 5km, del sector de Mahuarcay con 400 m de distancia, y finalmente del canal antiguo Santa Ana el mismo se encuentra a 7 km de la

planta. El transporte del agua desde el punto de captación a la planta se realiza a través de tuberías subterráneas de PVC, conduciéndola por gravedad.

2.2. Proceso de potabilización

La planta de potabilización de Bayas es una planta de tratamiento convencional, con capacidad para trabajar con un caudal de 20 L/s. Está dividida en dos módulos iguales trabajando con 10 L/s para el módulo izquierdo y 10L/s para el derecho. La planta cuenta con un mezclador rápido, un floculador de flujo vertical y un floculador de flujo horizontal, dos sedimentadores de alta tasa y dos filtros lentos, seguido de un tanque de cloración en donde se usa hipoclorito de calcio como sustancia desinfectante, y finalmente un tanque de almacenamiento para el agua potabilizada.

Las etapas de potabilización se detallan a continuación:

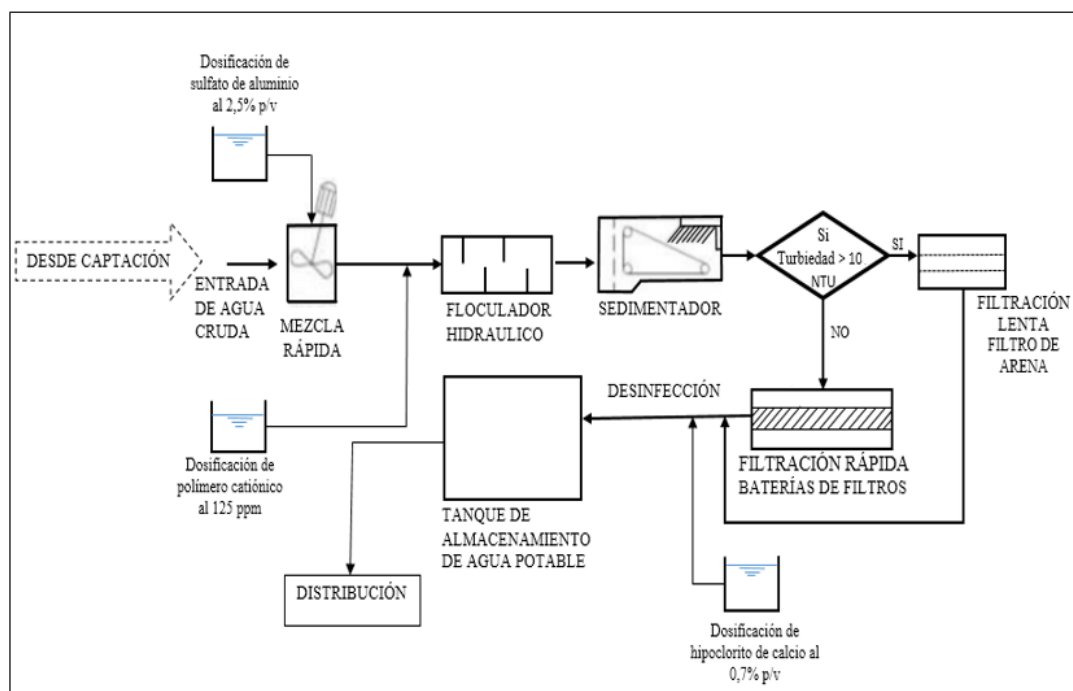


Figura 4. Diagrama de planta de la Junta Administradora de Agua Potable de Bayas
Fuente: Autoras

2.2.1. Entrada del agua cruda

El agua que llega a la planta desde los 4 puntos de captación, ingresa por 4 tuberías a la parte inferior de un cajón de recepción de agua de flujo ascendente con una capacidad de 20 L/s, aunque la planta no trabaja al límite de su capacidad, sino que trabaja con caudales

de entre 10 y 15 L/s para lo cual se regula el caudal en las tuberías mediante válvulas que permiten manejar adecuadamente el flujo de agua cruda a tratar.

También la planta cuenta con un sistema que ayuda a desviar el agua en caso de que cualquier punto de captación presente valores elevados de turbiedad o presente gran cantidad de materia orgánica evitando alteraciones bruscas en los procesos de potabilización.

El caudal del agua con el que está trabajando la planta se mide en el vertedero rectangular para lo cual se considera la altura que alcanza el agua cuando se coloca una regla en el vertedero, con los valores de la altura obtenida se trabaja con una tabla, la misma que es para vertederos rectangulares basados en la ecuación de Francis:

$$Q = 1,7 (L)H^{1,5}$$



Imagen 2. Entrada de agua cruda
Fuente: Autoras

2.2.2. Proceso de coagulación

El agua cae hacia el vertedero formando un resalto, que ayuda a generar mayor turbulencia durante la mezcla rápida. Para la coagulación se usa sulfato de aluminio en una concentración de 2,5% P/V, los operadores preparan esta solución disolviendo 25 kg de coagulante en dos tanques de 500 L de capacidad, en la parte baja de los mismos se han

instalado tuberías para la salida de la solución por un tubo de PVC, el mismo que se asemeja a una flauta por los orificios realizados para la salida del coagulante, este tubo se encuentra ubicado en el inicio del vertedero.



*Imagen 3. Tanque de solución de Sulfato de aluminio al 2,5% P/V
Fuente: Autoras*



*Imagen 4. Dosificación de sulfato de aluminio
Fuente: Autoras*

2.2.3. Proceso de floculación

La nueva unidad construida en la planta es un floculador hidráulico de pantalla de flujo horizontal con paredes construidas de concreto, formado por cámaras de tabiques convenientemente ubicados para permitir el paso del agua a una velocidad apropiada, con la finalidad de asegurar la mezcla adecuada. Los valores de gradientes de trabajo están entre: 70 y 20 s^{-1} .



Imagen 5. Floculador vertical usado anteriormente

Fuente: Autoras

Se usa como floculante el polímero catiónico LIPESA 1569. La dosificación del floculante al agua se realiza mediante un tubo de PVC, el mismo que está regulado por una válvula, que está conectado a un tanque de 500 L, en el cual se encuentra la solución con una concentración de 125 ppm.



Imagen 6. Floculador horizontal que se usa actualmente

Fuente: Autoras

Para evitar la acumulación de lodos en el fondo y facilitar el vaciado del tanque, se colocó una válvula para la evacuación de los lodos. La unidad de floculación se encuentra dividida en tres zonas. A continuación, se detallan los datos de fabricación de la unidad de floculación:

Tabla 3. Detalles del floculador hidráulico horizontal

Datos	Floculador: Primera zona		Floculador: Segunda zona		Floculador: Tercera zona	
	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor
Caudal	L /s	15	L /s	15	L /s	15
Velocidad	m/s	0.20	m/s	0.14	m/s	0.10
Calado	m	0.6	m	0.6	m	0.6
Longitud, tabique	m	2.8	m	2.3	m	1.7
Espesor tabique	m	0.03	m	0.03	m	0.03
Longitud total	m	38	m	55	m	60
Ancho del tanque	m	2.1	m	2.6	m	2.1
Número de canales	N	15	N	17	N	23
Largo del tanque	m	2.7	m	3.7	m	6.4
Número de tabiques	N	14	N	16	N	22

Fuente: García, Memoria Técnica Remodelación JAPB, 2018

2.2.4. Proceso de sedimentación

El agua que sale de los floculadores ingresa al proceso de sedimentación, donde se genera la separación rápida de los lodos formados en el proceso de floculación. Los sedimentadores también fueron construidos en la remodelación de la planta.



Imagen 7. Sedimentadores usados antes de la remodelación de la planta
Fuente: Autoras

Los elementos que componen la nueva unidad de sedimentación son:

- **Parte recta:** Consta de cámara de recolección del agua floculada y zona de sedimentación formada por láminas inclinadas 60° .
- **Tolva:** Para recolección de lodos con válvulas tipo compuerta, para limpieza rápida de lodos decantados.

Se trabaja con un sedimentador laminar de flujo ascendente que trata caudales mayores en un área y estructura menor de la que requieren los sedimentadores convencionales y su eficiencia es superior.

Para optimizar el funcionamiento de estas unidades, se consideró en el proyecto estructuras de entrada, salida, almacenamiento y extracción de lodos correctamente concebidas, a través de las cuales se transporta el agua para lograr el mejor comportamiento y la máxima eficiencia de la unidad.



Imagen 8. Sedimentadores usados actualmente
Fuente: Autoras



Imagen 9. Floculadores y sedimentadores nuevos
Fuente: Autoras

El sedimentador está dividido en cuatro zonas: de sedimentación, de entrada, de salida y de lodos.

- **Zona de entrada al sedimentador:** Mediante un canal se distribuye de manera uniforme el agua floculada al módulo de placas. En la entrada en el proceso de remodelación de la planta fue colocada una pared con orificios ubicados en el fondo de la pared. El cálculo del diámetro, la velocidad y el gradiente en los orificios que se usaron para la construcción se muestra a continuación:

Tabla 4. Detalle del sedimentador

Referencia	Valor	Unidad
Caudal por sedimentador	15	L /s
Caudal de mantenimiento	0.01875	m³/s
Velocidad en los orificios	0.12	m/s
Área de los orificios	0.1042	m²
Separación de centro a centro entre orificios	0.15	m
Longitud del canal/sedimentador	7	m
Número de orificios en cada sedimentador	10	U
Área de cada orificio	0.013	m²
Diámetro de los orificios	6	"
Ancho del canal	0.5	m
Altura inicial	1.5	m
Altura final	0.6	m
Caudal por orificio	0.0015	m³/s
Coeficientes experimentales	a=0.7	
	F= 1.67	
Temperatura del agua	11	°C
$\Sigma 1/\sqrt{\beta}$	1.44	
Coeficiente Darcy	0.02	
Gradiente	7.07	S ⁻¹

Fuente: García, Memoria Técnica Remodelación JAPB, 2018

- **Zona de sedimentación:** Los módulos de sedimentación consisten en una serie de tubos de ABS, químicamente soldados a un ángulo de 60 grados en diferentes posiciones. En el siguiente cuadro se presenta las características de los módulos de sedimentación.

Tabla 5. Características de los módulos de sedimentación

Material	ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)
-----------------	---

Espesor de láminas:	1 mm.
Angulo de los tubos:	60 grados
Tamaño de los tubos:	8 x 8 cm.
Ancho	1.70 m
Largo	7.00m
Alto	1.0m
Sistema de fabricación:	Termo formado y prensado
Peso específico del ABS	1.14

Fuente: García, Memoria Técnica Remodelación JAPB, 2018

Tabla 6. Características del ABS

Características del ABS
Atóxico
Resistente a ácidos
Resistente a álcalis
Superficie completamente liza
Con aditivos, es resistente a UV
Peso específico 1,14
Estabilidad dimensional.

Fuente: García, Memoria Técnica Remodelación JAPB, 2018

- **Zona de salida:** Para la recolección del agua decantada mediante tuberías perforadas para la remodelación eligieron un sistema de tuberías de PVC perforadas por su bajo costo y una tasa de 1.1 L/s x m, en el siguiente cuadro se muestra el dimensionamiento del sistema de recolección de agua sedimentada:

Tabla 7. Detalle del sistema de recolección de agua sedimentada

Referencia	Valor	Unidad
Caudal por sedimentado	15	l/s
Tasa de recolección	1.1	l/s m



Longitud de tuberías de recolección/sedimentador	11.9	m
Ancho del módulo de placas/sed.	1.7	m
N° de tubos de recolección/sed	7	U
Espaciamiento entre orificios	0.1	m
N° de orificios por tubo	17	U
Diámetro de los orificios	1	"
Diámetro del tubo	6	"
Separación entre ejes de las tuberías de recolección	0.89	m

Fuente: García, Memoria Técnica Remodelación JAPB, 2018

- **Zona de depósito y extracción de lodos:** Los lodos se depositan en tolvas de almacenamiento continuas. Para su extracción se utiliza un sistema hidráulico.

2.2.5. Filtración lenta

El propósito de la filtración lenta es eliminar microorganismos patógenos mediante procesos físicos y biológicos, en la planta de Bayas este proceso se da en una piscina de gran tamaño construida de cemento, la misma contiene arena formando un lecho filtrante, colocándose sobre este el agua que se va a tratar.



Imagen 10. Lechos de arena para filtración lenta
Fuente: Autoras



Imagen 11. Filtración Lenta
Fuente: Autoras

Este proceso de filtración se usa directamente con el agua cruda para eliminar la turbiedad de la misma obteniéndose valores inferiores a 20 NTU, y otra manera de usar este lecho filtrante es con la alimentación que proviene de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y la de los prefiltros, en caso de que se requiera disminuir la turbiedad.

2.2.6. Filtración rápida

La filtración rápida se la realiza haciendo pasar primero el agua que sale de los sedimentadores por unos prefiltros de grava de flujo horizontal.



Imagen 12. Prefiltros de grava
Fuente: Autoras

En la planta hay dos prefiltros, cada uno consta de dos etapas la primera con grava gruesa y la segunda con grava fina, esto se hace para reducir la carga de sólidos suspendidos antes que el agua ingrese a la filtración rápida, en la planta hay una batería que tiene 4 filtros rápidos de tasa declinante y lavado mutuo, aquí es donde ingresa el agua después del proceso de sedimentación; el material del cual está formado cada filtro es grava de distintos tamaños en la parte inferior y en la parte superior contiene arena, una vez que el agua haya sido filtrada se conduce mediante un canal de aislamiento que tiene cada filtro ubicado al final de estos, después de la batería de filtros hay un canal que conecta todos las salidas de los canales de aislamiento y mediante esta conexión se transporta el agua a la etapa de cloración.



*Imagen 13. Batería de filtros
Fuente: Autoras*

2.2.7. Etapa de desinfección

Para el proceso final de potabilización de agua, la planta de tratamiento usa la cloración como método de desinfección, esta se realiza mediante la adición al agua filtrada de hipoclorito de calcio con cloro disponible del 70%. La solución se prepara disolviendo 3,5 kg de hipoclorito de calcio en 500 L de agua obteniendo una concentración del 0,7% P/V.

La dosificación se realiza de manera directa añadiendo la solución de cloro al agua, además se dosifica de manera provisional mediante un dosificador de plástico para disminuir problemas de obstrucción en las mangueras que se usan en la distribución del cloro.

Para controlar la cantidad de cloro presente en el agua se toma muestras del tanque de almacenamiento de agua tratada, donde el operador de turno monitorea el valor cada hora.

Las dosis óptimas de cloro residual deben oscilar entre 0,5 mg/L a 1 mg/L.



*Imagen 14. Cuarto de cloración
Fuente: Autoras*



*Imagen 15. Dosificación de hipoclorito de calcio
Fuente: Autoras*

- **Almacenamiento de agua potabilizada**

El agua luego del proceso de desinfección es conducida a un tanque cilíndrico que tiene una capacidad de almacenamiento de 200 m³ para después trasladarse a dos tanques de

distribución, estos se encuentran ubicados en el centro de la parroquia Bayas y desde aquí se distribuye el agua a los distintos sectores.



Imagen 16. Tanque de almacenamiento de agua tratada
Fuente: Autoras

2.3. Laboratorio de control de calidad

Existe en la planta de tratamiento un laboratorio de control donde se realiza las pruebas de color, turbiedad y pH del agua cruda, en los floculadores, sedimentadores, filtros y del agua tratada, para lo cual se utiliza el equipo HACH 890, además en este equipo también se realizan las pruebas de los minerales presentes en el agua.

Además, constan de materiales y reactivos para realizar análisis físicos y químicos que permiten evaluar los diferentes procesos de potabilización del agua.

En el laboratorio de control de calidad los operadores realizan los análisis físicos de color, turbiedad, pH y cloro residual cada dos horas, así mismo como los análisis fisicoquímicos y microbiológicos (si fueran necesarios) son realizados por estudiantes de la Universidad de Cuenca que trabajan mediante el convenio entre la Junta y la Facultad de Ciencias Químicas.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

La metodología aplicada se basó en el siguiente esquema:

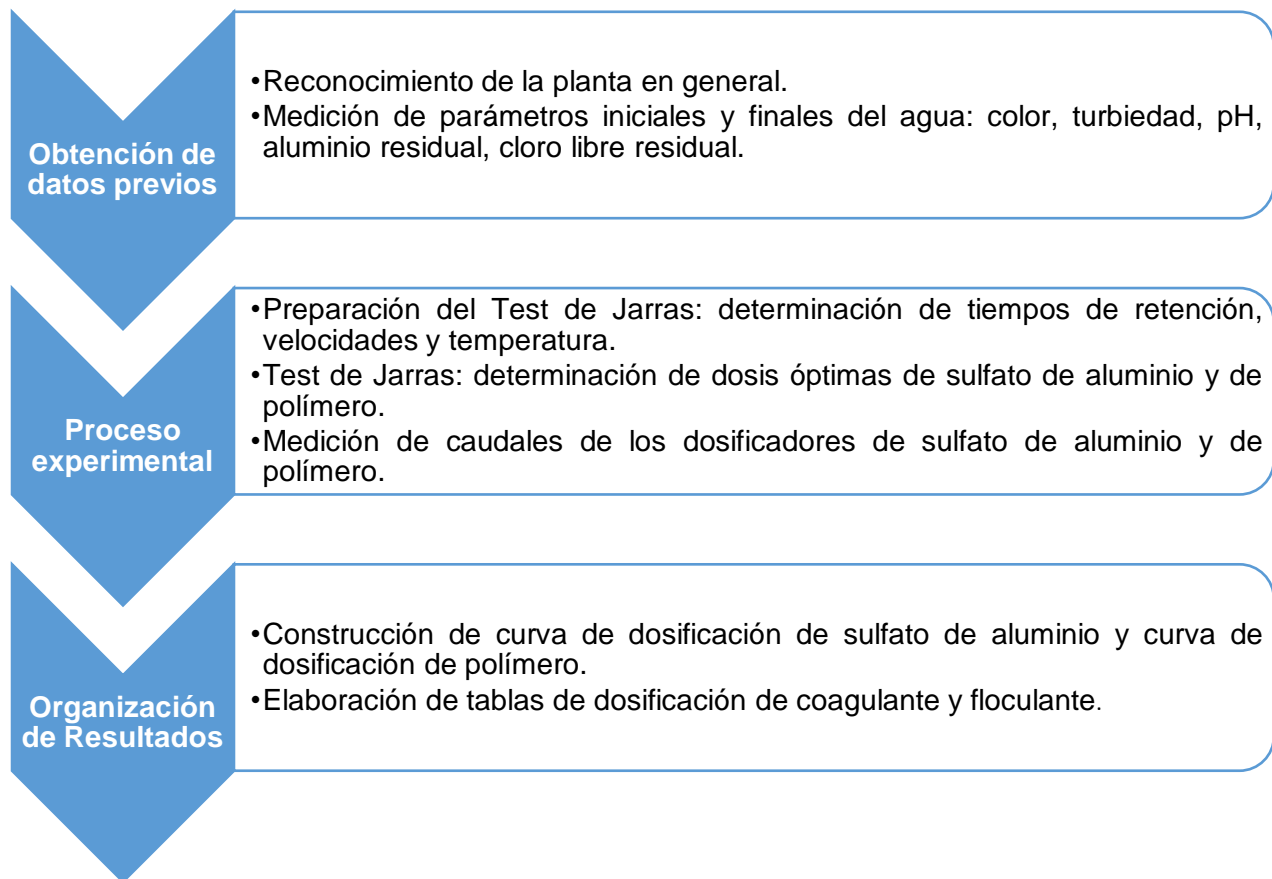


Figura 5. Metodología para la optimización de los procesos de coagulación y floculación

Fuente: Autoras

3.1. Obtención de datos previos

Como primer paso se realizó el reconocimiento de toda la planta a fin de conocer a detalle cada uno de los procesos. También se midieron el color, turbiedad, pH, tanto en agua cruda como en la tratada. En ésta última también se determinó aluminio residual y cloro residual. Todas las mediciones fueron realizadas en el Colorímetro HACH 890. Esto se hizo con el propósito de conocer las condiciones en las que el agua se encontraba.



3.2. Proceso experimental

3.2.1. Prueba de trazadores y tiempos de retención

La prueba de trazadores es un procedimiento muy útil para determinar la distribución del flujo en unidades paralelas y evaluar las condiciones hidráulicas. En este caso se utilizó para determinar los tiempos reales de retención en las etapas de mezcla rápida, floculación y sedimentación. Como sustancia trazadora se utilizó una solución sobresaturada de cloruro de sodio y se contó con un conductímetro para las mediciones. La planta tiene capacidad de trabajo de 20 L/s, pero el test se realizó con un gasto de 13 L/s, que es con el que la planta normalmente trabaja.

Las mediciones fueron tomadas en los sitios señalados en la Figura 5, los cuales fueron seleccionados por observación tomando en cuenta el cambio de velocidad que el flujo experimenta superficialmente. Así:

A: Mezcla rápida en el vertedero

B: Mezcla rápida en la entrada al floculador

C: Mezcla lenta 1

D: Mezcla lenta 2

E: Mezcla lenta 3

F: Sedimentación

En los puntos *A* y *B*, correspondientes a mezcla rápida se tomó el tiempo mediante el recorrido de una pelota de plástico.

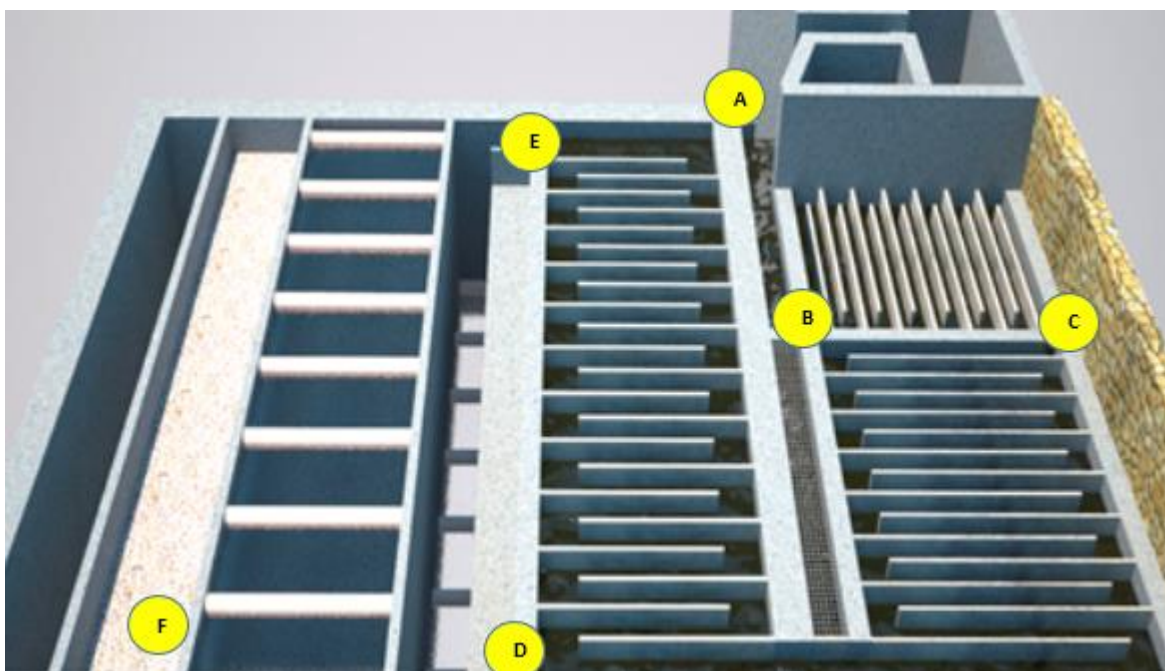


Figura 6. Sitios de medición en la prueba de trazadores
Fuente: Autoras

Una vez determinados los puntos de medición se siguieron los procedimientos descritos en el Anexo I:

3.2.2. Pérdida de carga

Referida a la pérdida de energía que el flujo de agua experimenta debido al rozamiento en el vertedero y en el floculador.

3.2.2.1. Vertedero

Para el vertedero se siguió la siguiente metodología (Romero, Purificación del Agua, 2006):

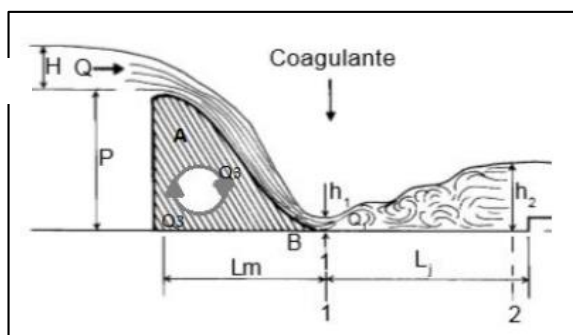


Figura 7. Resalto de vertedero rectangular
Fuente: Romero, Purificación del Agua, 2006



$$H = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

Ecuación 1. Pérdida de carga en el vertedero

H = pérdida de carga

h_1 = profundidad antes del resalto

h_2 = profundidad después del resalto

3.2.2.2. Floculador

Para la etapa de floculación se utilizaron las siguientes expresiones tomando en cuenta:

- Cálculo de la velocidad del flujo

$$v = \frac{L}{t}$$

Ecuación 2. Velocidad del flujo

v = velocidad del flujo

L = longitud de canal recorrida

t = tiempo de retención

- Cálculo de la pérdida de carga debida a las vueltas

$$h_1 = \frac{k v^2 (N - 1)}{2g}$$

Ecuación 3. Pérdida de carga debida a las vueltas

h_1 = pérdida de carga debida a las vueltas

k = coeficiente de pérdida de carga en las vueltas

v = velocidad del flujo

N = número de canales

- Cálculo del radio hidráulico para canal rectangular

$$R = \frac{a b}{2a + b}$$

Ecuación 4. Radio hidráulico



R = Radio hidráulico para canal rectangular
a = altura del canal mojado
b = ancho del canal

- **Cálculo de la pérdida de carga en los canales**

$$h_2 = \frac{(n v)^2 L}{R^3}$$

Ecuación 5. Pérdida de carga en los canales

h_2 = pérdida de carga en los canales
 n = coeficiente de rugosidad = 0,012 para cemento
 v = velocidad del flujo
 L = longitud del canal
 R = radio hidráulico

- **Cálculo de la pérdida de carga en el floculador**

$$H = h_1 + h_2 + h_3$$

Ecuación 6. Pérdida de carga en el floculador

H = Pérdida de carga en el floculador
 h_1 = pérdida de carga debido a las vueltas
 h_2 = pérdida de carga en los canales
 h_3 = desnivel del fondo del tanque

3.2.3. Gradiente de velocidad

Una vez determinada la pérdida de carga se determina la gradiente de velocidad mediante la siguiente ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \sqrt{\frac{H}{t}}$$

Ecuación 7. Gradiente de velocidad

G = gradiente de velocidad
 $\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ = relación viscosidad
 H = pérdida de carga en el floculador



t = tiempo de retención

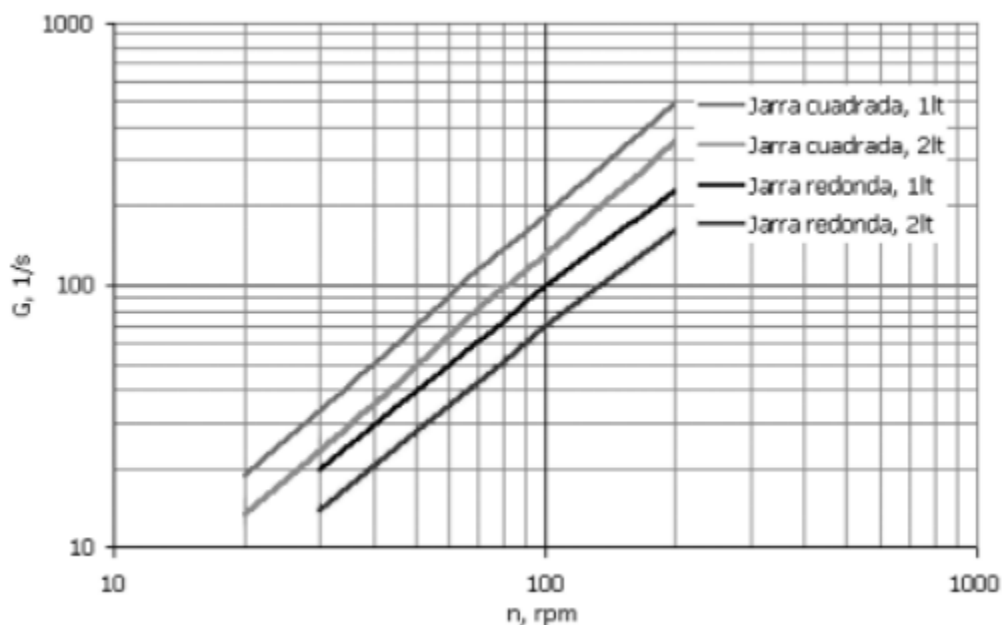
La relación $\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ varía con la temperatura según la tabla 8:

Tabla 8. Relación viscosidad - temperatura

Temperatura [°C]	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$
0	2337
4	2502
10	2737
15	2920
17	2998
20	3115
25	3267

Fuente: CEPIS, Manual IV: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, 2004

Con la gradiente obtenida se determina la velocidad que se aplicará en el test de jarras de acuerdo a la Gráfica 1, en donde se tienen valores acordes a la geometría de la jarra utilizada.



Gráfica 1. Determinación de la velocidad de agitación requerida para diferentes gradientes y tipos de jarras utilizadas

Fuente: Lorenzo - Acosta, Estado del Arte del Tratamiento de aguas por coagulación – Floculación, 2006

3.2.4. Prueba de jarras

Esta prueba es extensamente usada para determinar dosis de reactivos y otros parámetros. En ella se tratan de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio. (Lorenzo - Acosta, Estado del Arte del Tratamiento de aguas por coagulación – Floculación, 2006)



Imagen 17. Equipo para prueba de jarras

Fuente: Autoras



La prueba se realizó en el laboratorio de EMAPAL, este equipo cuenta con seis jarras de dos litros de capacidad y de base cuadrada. Las soluciones de partida para este test tienen concentraciones de 2,5 % P/V de sulfato de aluminio y 125 ppm de polímero, ya que estas son las concentraciones que los operarios preparan basándose en la capacidad de los tanques.

3.2.4.1. Preparación de solución de sulfato de aluminio para la prueba de jarras

- Solución madre de 2,5 % P/V sulfato de aluminio

25 kg disueltos en 1000L

$$\frac{25 \text{ kg}}{1000 \text{ L}} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 25000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 25000 \text{ ppm}$$

- Solución de sulfato aluminio de 30 ppm

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

Ecuación 8. Cálculo de alícuota

V_1 = volumen de alícuota a determinar

V_2 = volumen de cada jarra

C_1 = concentración de solución que se parte

C_2 = concentración de solución requerida

$$V_1 = ?$$

$$V_2 = 2000 \text{ ml}$$

$$C_1 = 25000 \text{ ppm}$$

$$C_2 = 30 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{2000 \text{ ml} * 30 \text{ ppm}}{25000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 2,4 \text{ ml}$$

3.2.4.2. Preparación de solución de polímero para la prueba de jarras.



- **Solución madre de 125 ppm polímero**

0,125 kg disueltos en 1000L

$$\frac{0,125 \text{ kg}}{1000 \text{ L}} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 125 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 125 \text{ ppm}$$

- **Solución de polímero de 0,01 ppm**

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

$$V_1 = ?$$

$$V_2 = 2000 \text{ ml}$$

$$C_1 = 125 \text{ ppm}$$

$$C_2 = 0,01 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{2000 \text{ ml} * 0,01 \text{ ppm}}{125 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0,16 \text{ ml}$$

Se realizaron diez ensayos aplicando el procedimiento del *Anexo I*:

3.2.5. Medición de caudales de los dosificadores

Mediante esta prueba se obtuvieron los caudales correspondientes al número de vueltas de las válvulas de los dosificadores del coagulante y floculante, respectivamente siguiendo el procedimiento descrito en *Anexo 1*.

3.3. Organización de los resultados

3.3.1. Construcción de curva de dosificación de coagulante

Para la construcción de la curva de dosificación de sulfato de aluminio se partió de los resultados obtenidos en la prueba de jarras.

Se construyó la curva de dosificación de sulfato de aluminio teniendo la dosis de coagulante en el eje x y el color en el agua en el eje y. Se tomó como referencia el color ya que la



turbiedad no presenta mayor variación, manteniéndose generalmente por debajo de 25 NTU, mientras que el color asciende rápidamente.

Se elaboró una tabla de dosificación según la curva de dosificación de sulfato de aluminio y el caudal de trabajo, que dará como resultado el caudal de la solución en L/min.

3.3.1.1. Cálculo para la dosificación de sulfato de aluminio según el caudal de trabajo

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

$$C_1 = 25000 \text{ ppm}$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 15 \text{ ppm}$$

$$\text{Caudal de trabajo} = 13 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$\frac{13 \text{ L}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 780 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

$$V_2 = 780 \text{ L}$$

$$V_1 = \frac{780 \text{ L} * 15 \text{ ppm}}{25000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0,47 \text{ L}$$

Caudal de dosificación de sulfato de aluminio = 0,47 L/min

3.3.2. Determinación de dosificación de polímero

La curva de dosificación de polímero tiene la dosis de polímero en el eje x y el color del agua en el eje y. La dosis de polímero depende de la presencia de coagulante, ya que primero se obtuvo la dosis óptima de sulfato de aluminio para a continuación obtener la dosis óptima de polímero manteniendo al coagulante constante.



3.3.2.1. Cálculo para la dosificación de polímero LIPESA 1569 según el caudal de trabajo

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

$$C_1 = 125 \text{ ppm}$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 0,01 \text{ ppm}$$

$$\text{Caudal de trabajo} = 13 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$\frac{13 \text{ L}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 780 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

$$V_2 = 780$$

$$V_1 = \frac{780 \text{ L} * 0,01 \text{ ppm}}{125 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0,0624 \text{ L}$$

Caudal de dosificación de sulfato de aluminio = 0,0624 L/min



CAPÍTULO IV

4. DATOS EXPERIMENTALES

4.1. Prueba de trazadores y tiempos de retención

Trabajando con un caudal de 13 L/s se obtuvieron los tiempos descritos en el *Anexo II*.

4.2. Pérdida de carga

4.2.1. Mezcla rápida en el vertedero

$$h_1 = 0,025 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,12 \text{ m}$$

$$H = \frac{(0,12 - 0,025)^3}{4(0,12)(0,025)}$$

$$H = 0,0714 \text{ m}$$

- Cálculo de gradiente de velocidad

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}(17^\circ\text{C}) = 2998$$

$$H = 0,0714 \text{ m}$$

$$t = 1,5 \text{ s}$$

$$G = 2998 * \sqrt{\frac{0,0714 \text{ m}}{1,5 \text{ s}}}$$

$$G = 654,09 \text{ s}^{-1}$$

Con una gradiente de velocidad de $654,09 \text{ s}^{-1}$, la velocidad de agitación es de 300 rpm.

4.2.2. Mezcla rápida en la entrada del floculador

Cálculo de la velocidad del flujo

$$L = 2,1 \text{ m}$$

$$t = 5 \text{ s}$$

$$v = \frac{2,1 \text{ m}}{5 \text{ s}}$$

$$v = 0,42 \text{ m/s}$$



- **Cálculo del radio hidráulico para canal rectangular**

$$a = 0,20 \text{ m}$$

$$b = 0,15 \text{ m}$$

$$R = \frac{(0,20 \text{ m}) (0,15 \text{ m})}{2(0,20 \text{ m}) + (0,15 \text{ m})}$$

$$R = 0,0546 \text{ m}$$

- **Cálculo de la pérdida de carga en el canal**

$$n = 0,012$$

$$v = 0,42 \text{ m/s}$$

$$L = 2,1 \text{ m}$$

$$R = 0,0546 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{\left(0,012 * 0,42 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * 2,1 \text{ m}}{(0,0546 \text{ m})^{\frac{4}{3}}}$$

$$h_2 = 2,5753 * 10^{-3} \text{ m}$$

- **Desnivel del fondo del tanque**

$$h_3 = 0,01 \text{ m}$$

- **Cálculo de la pérdida de carga en el floculador**

$$h_2 = 2,5753 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$h_3 = 0,01 \text{ m}$$

$$H = 2,5753 * 10^{-3} \text{ m} + 0,01 \text{ m}$$

$$H = 0,0126 \text{ m}$$

- **Cálculo de gradiente de velocidad**

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} (17^\circ\text{C}) = 2998$$

$$H = 0,0126 \text{ m}$$

$$t = 5 \text{ s}$$

$$G = 2998 * \sqrt{\frac{0,0126 \text{ m}}{5 \text{ s}}}$$

$$G = 150,49 \text{ s}^{-1}$$



Con una gradiente de velocidad de $150,49 \text{ s}^{-1}$, la velocidad de agitación es de 100 rpm.

4.2.3. Floculador mezcla lenta 1

- Cálculo de la velocidad del flujo

$$L = 38 \text{ m}$$

$$t = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$$

$$v = \frac{38 \text{ m}}{300 \text{ s}}$$

$$v = 0,1267 \text{ m/s}$$

- Cálculo de la pérdida de carga debida a las vueltas

$$k = 2$$

$$v = 0,1267 \text{ m/s}$$

$$N = 18$$

$$h_1 = \frac{(2) (0,1267 \text{ m/s})^2 (18 - 1)}{2 \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)}$$

$$h_1 = 0,0279 \text{ m}$$

- Cálculo del radio hidráulico para canal rectangular

$$a = 0,58 \text{ m}$$

$$b = 0,15 \text{ m}$$

$$R = \frac{(0,58 \text{ m}) (0,15 \text{ m})}{2(0,58 \text{ m}) + 0,15 \text{ m}}$$

$$R = 0,0664 \text{ m}$$

- Cálculo de la pérdida de carga en los canales

$$n = 0,012 \text{ para cemento}$$

$$v = 0,1267 \text{ m/s}$$

$$L = 38 \text{ m}$$

$$R = 0,0664 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{(0,012 * 0,1267 \text{ m/s})^2 * 38 \text{ m}}{(0,0664 \text{ m})^{\frac{4}{3}}}$$

$$h_2 = 3,2669 * 10^{-3} \text{ m}$$

- Desnivel del fondo del tanque



$$h_3 = 0,10 \text{ m}$$

- **Cálculo de la pérdida de carga en el floculador**

$$h_1 = 0,0279 \text{ m}$$

$$h_2 = 3,2669 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$h_3 = 0,10 \text{ m}$$

$$H = 0,0279 \text{ m} + 3,2669 * 10^{-3} \text{ m} + 0,10 \text{ m}$$

$$H = 0,1312 \text{ m}$$

- **Cálculo de gradiente de velocidad**

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} (17^\circ\text{C}) = 2998$$

$$H = 0,1312 \text{ m}$$

$$t = 300 \text{ s}$$

$$G = 2998 * \sqrt{\frac{0,1312 \text{ m}}{300 \text{ s}}}$$

$$G = 62,69 \text{ s}^{-1}$$

Con una gradiente de velocidad de $62,69 \text{ s}^{-1}$, la velocidad de agitación es de 60 rpm.

4.2.4. Floculador mezcla lenta 2

- **Cálculo de la velocidad del flujo**

$$L = 52,4 \text{ m}$$

$$t = 7 \text{ min} = 420 \text{ s}$$

$$v = \frac{52,4 \text{ m}}{420 \text{ s}}$$

$$v = 0,1248 \text{ m/s}$$

- **Cálculo de la pérdida de carga debida a las vueltas**

$$k = 2$$

$$v = 0,1248 \text{ m/s}$$

$$N = 14$$

$$h_1 = \frac{(2) (0,1248 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 (14 - 1)}{2(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$



$$h_1 = 0,0207 \text{ m}$$

- **Cálculo del radio hidráulico para canal rectangular**

$$a = 0,58 \text{ m}$$

$$b = 0,195 \text{ m}$$

$$R = \frac{(0,58 \text{ m}) (0,195 \text{ m})}{2(0,58 \text{ m}) + (0,195 \text{ m})}$$

$$R = 0,0835 \text{ m}$$

- **Cálculo de la pérdida de carga en los canales**

$$n = 0,012$$

$$v = 0,1248 \text{ m/s}$$

$$L = 52,4 \text{ m}$$

$$R = 0,0835 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{\left(0,012 * 0,1248 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * 52,4 \text{ m}}{(0,0835 \text{ m})^{\frac{4}{3}}}$$

$$h_2 = 3,2201 * 10^{-3} \text{ m}$$

- **Desnivel del fondo del tanque**

$$h_3 = 0,01 \text{ m}$$

- **Cálculo de la pérdida de carga en el floculador**

$$h_1 = 0,0207 \text{ m}$$

$$h_2 = 3,2201 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$h_3 = 0,01 \text{ m}$$

$$H = 0,0207 \text{ m} + 3,2201 * 10^{-3} \text{ m} + 0,01 \text{ m}$$

$$H = 0,0339 \text{ m}$$

- **Cálculo de gradiente de velocidad**

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}(17^\circ\text{C}) = 2998$$

$$H = 0,0339 \text{ m}$$

$$t = 420 \text{ s}$$

$$G = 2998 * \sqrt{\frac{0,0339 \text{ m}}{420 \text{ s}}}$$



$$G = 26,93 \text{ s}^{-1}$$

Con una gradiente de velocidad de $26,93 \text{ s}^{-1}$, la velocidad de agitación es de 32 rpm.

4.2.5. Floculador mezcla lenta 3

- Cálculo de la velocidad del flujo

$$L = 62,3 \text{ m}$$

$$t = 12 \text{ min} = 720 \text{ s}$$

$$v = \frac{62,3 \text{ m}}{720 \text{ s}}$$

$$v = 0,0865 \text{ m/s}$$

- Cálculo de la pérdida de carga debida a las vueltas

$$k = 2$$

$$v = 0,0865 \text{ m/s}$$

$$N = 23$$

$$h_1 = \frac{2 (0,0865 \text{ m/s})^2 (23 - 1)}{2(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$h_1 = 0,0168 \text{ m}$$

- Cálculo del radio hidráulico para canal rectangular

$$a = 0,69 \text{ m}$$

$$b = 0,195 \text{ m}$$

$$R = \frac{(0,69 \text{ m}) (0,195 \text{ m})}{2(0,69 \text{ m}) + (0,195 \text{ m})}$$

$$R = 0,0854 \text{ m}$$

- Cálculo de la pérdida de carga en los canales

$$n = 0,012$$

$$v = 0,0865 \text{ m/s}$$

$$L = 62,3 \text{ m}$$

$$R = 0,0854 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{(0,012 * 0,0865 \text{ m/s})^2 * 62,3 \text{ m}}{(0,0854 \text{ m})^{\frac{4}{3}}}$$



$$h_2 = 1,7849 * 10^{-3} \text{ m}$$

- **Cálculo de la pérdida de carga en el floculador**

$$h_1 = 0,0168 \text{ m}$$

$$h_2 = 1,7849 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$H = 0,0168 \text{ m} + 1,7849 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$H = 0,0186 \text{ m}$$

- **Cálculo de gradiente de velocidad**

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} (17^\circ\text{C}) = 2998$$

$$H = 0,0186 \text{ m}$$

$$t = 720 \text{ s}$$

$$G = 2998 * \sqrt{\frac{0,0186 \text{ m}}{720 \text{ s}}}$$

$$G = 15,23 \text{ s}^{-1}$$

Con una gradiente de velocidad de $15,23 \text{ s}^{-1}$, la velocidad de agitación es de 20 rpm.

Con los tiempos de retención medidos y las velocidades de agitación calculadas se estableció el programa con el cual se realizaron las pruebas de jarras.

Tabla 9. Programa de trabajo para la prueba de jarras

ZONA	Velocidad de agitación	Unidad	Tiempo de retención	Unidad
Mezcla rápida 1	300	RPM	1,5	s
Mezcla rápida 2	100	RPM	5	s
Mezcla lenta 1	60	RPM	5	min
Mezcla lenta 2	32	RPM	7	min
Mezcla lenta 3	20	RPM	12	min
Sedimentación	0	RPM	17	min

Fuente: Autoras

4.3. Prueba de jarras



Con el programa ya establecido se realizaron las pruebas de jarras, cinco solo con sulfato de aluminio para obtener la curva de dosificación de este, y cinco con la dosis de sulfato de aluminio óptima más la dosis de polímero, actuando los dos químicos en conjunto. Los resultados se describen en el *Anexo III*.

Las curvas de dosificación del sulfato de aluminio y del polímero se encuentran en *Anexo IV* y *Anexo V*, respectivamente. Mediante la curva de dosificación de sulfato de aluminio se construyó la tabla del *Anexo VI*, que corresponde a la dosis de sulfato de aluminio que se debe agregar de acuerdo al caudal de trabajo.

4.4. Caudales de dosificación

Con estos datos del Anexo se realizaron tablas de dosificación con información directa para facilitar el trabajo del operador.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CLORACIÓN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CLORO GASEOSO

Es el sistema más utilizado en plantas de tratamiento de agua potable, debido a los beneficios que presenta en el proceso de desinfección, asegurando con esto la calidad del líquido que se va a distribuir. (Gonzalez, s.f.)

Para su funcionamiento se utiliza un sistema de control de lazo cerrado, donde la dosificación se realiza en función del caudal de ingreso, una vez que se dé la reacción completa de la acción del cloro entra en funcionamiento el sensor de cloro residual libre, el mismo que envía una señal feedback o de retroalimentación al analizador para que comande la válvula automática. De esta manera se cumple el lazo cerrado y se hace una medición cada dos minutos durante las 24 horas del día. (Gonzalez, s.f.)

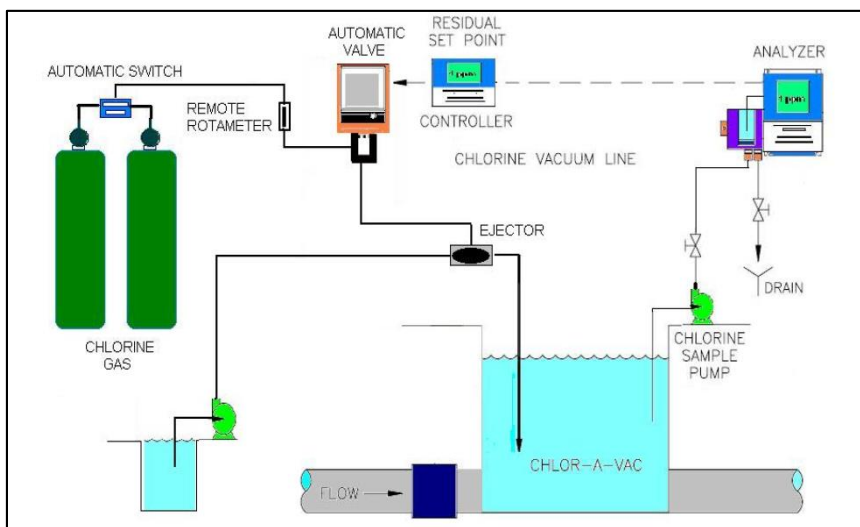


Imagen 18. Sistema de cloro gas

Fuente: CEPIS, Manual IV: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, 2004

El proceso de desinfección considera: el cloro libre residual y el caudal. La eficacia de este sistema de cloración está basada en el trabajo automático de todo el conjunto. Para el cambio de cilindros de cloro gaseoso; proceso que se realiza utilizando un conmutador automático, el mismo que asegura la presencia de desinfectante en todo momento. (Gonzalez, s.f.)



5.1. Dosificación de Cloro gas

La dosificación del cloro queda determinada por dos parámetros.: la dosis óptima y el caudal de agua al cual se va a inyectar esa dosis. Los equipos de cloración deben ser calibrados con la finalidad de que los mismos dosifiquen de acuerdo al consumo que se calcula con la siguiente formula, para lo cual se actuara sobre la perilla de la unidad de control, leyendo el valor deseado en el rotámetro anexo. La fórmula del cálculo es la siguiente (Gonzalez, s.f.):

$$C = Q * d * 0,0864$$

Donde:

C = Consumo de cloro (Kg/d) = lectura de rotámetro

Q = Caudal del agua (l/s)

d = Dosis de cloro (ppm)

Ejemplo: La planta está trabajando con un caudal de 10 (l/s) y la dosis de cloro es de 1,6 (mg/l). Así, el rotámetro debe marcar:

$$C = 0,0864 * \left(10 \frac{L}{s}\right) * \left(1,6 \frac{mg}{L}\right) = 1,3 \text{ kg/d}$$

5.2. Ventajas del uso de cloro gaseoso

Presenta una serie de diferencias frente al uso de otros desinfectantes basados en el cloro libre ya sea mediante adición de hipoclorito sódico, cloro gas o hipoclorito cálcico (Hidritec, 2015):

- Presenta una mayor duración en fase disuelta en el agua y mayor estabilidad frente a la temperatura y la radiación ultravioleta.
- La concentración necesaria para lograr una desinfección adecuada es inferior a la requerida con otros sistemas de desinfección siendo necesario un valor mínimo de únicamente 0,05 ppm de dióxido de cloro.



- Los tiempos de reacción también son muy inferiores, alrededor de 15 minutos, en comparación a los tratamientos con cloro libre, que pueden necesitar 60 minutos o más.
- El aumento del potencial de oxidación lo hacen más adecuado para su utilización en procesos de oxidación como eliminación de hierro, manganeso, aluminio, metales pesados y materia orgánica en general.
- Gracias a la excelente oxidación de la materia orgánica, disminuye la presencia de cloro residual combinado y trihalometanos.

5.3. Desventajas del cloro gas

Este sistema presenta las siguientes desventajas (BVSDE, 2016):

- Instalación costosa para pueblos pequeños.
- Necesita equipo auxiliar.
- El personal necesita capacitación.
- Si no es operado adecuadamente puede ser peligroso debido a que el gas es venenoso.
- Requiere energía eléctrica

5.4. Costos

La instalación del sistema automático de cloración para el tratamiento de agua potable requiere costos iniciales de inversión elevados, considerando los elementos que se encuentran en la tabla del *Anexo VII*.

CONCLUSIONES

- La optimización de los procesos de coagulación y floculación es importante en la planta de tratamiento, ya que con la curva de dosificación que se entregó a la junta de agua potable de Bayas, los operadores podrán dosificar sulfato de aluminio y polímero de acuerdo al color que presente el agua al inicio del tratamiento, pudiendo manejar agua cruda con bajas cantidades de color y también tratar el agua cuando presente cantidades elevadas del mismo.
- Durante la obtención de datos preliminares fue importante conocer el valor del pH en el agua cruda, debido a que influye durante las etapas de coagulación y floculación. Dicho parámetro se mantenía neutro, por lo que no se necesita alcalinizar el agua para su tratamiento. En cuanto a la turbiedad y color, durante los meses de noviembre y diciembre se mantuvieron constantes sin haber mayor variación.
- Los ensayos se realizaron durante los meses de diciembre, enero y febrero, obteniéndose información bastante real con respecto a los meses en los que el agua no presentaba variación significativa de la turbiedad y el color, encontrándose por debajo de los 30 NTU y 120 unidades de color, siendo en febrero cuando debido a la época lluviosa se pudo trabajar con turbiedad y color altos.
- Se trabajó en la mejora del proceso de desinfección ya que cuando se inició el proyecto la cantidad de cloro residual presente en el tanque de almacenamiento de agua dentro de la planta era bajo, por lo cual se realizó estas observaciones al personal de la junta, los cuales trabajaron en manejar la dosificación del cloro de acuerdo al caudal de agua con el que se trabaja en la planta y los análisis de cloro residual en el equipo HACH, al final del proyecto mejoraron ya que cumplían los valores indicados en la norma INEN 1108:2014.
- Se realizó la propuesta de la implementación del sistema de desinfección mediante cloro gas, ya que la etapa de desinfección no generaba resultados óptimos, es decir no se garantizaba el proceso de cloración, por lo cual se propone a la administración tomar en cuenta el tratamiento con cloro gaseoso debido a que presenta mayor ventaja comparado con el hipoclorito de calcio que es el producto con el cual se trabaja en la planta.



- Producir agua potable es un proceso largo, caro y complejo, se requieren muchas horas de trabajo y conocimiento, además de recursos económicos, materiales y procesos de alta tecnología.
- El proceso de optimización que se implementó en la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia Bayas es exitoso para los procesos de coagulación y floculación, lo que se demuestra con la calidad que posee el agua tratada.



RECOMENDACIONES

- Antes de realizar el proceso de optimización de potabilización de agua lo primero que se realizó son las pruebas de trazadores, ya que estas son las que nos dan los tiempos de duración de los procesos de coagulación y floculación, no se deben trabajar con datos de otras plantas potabilizadoras, ya que cada proceso es diferente.
- Las pruebas de laboratorio como la prueba de jarras y la de trazadores no son definitivas es decir que no se mantienen cuando el agua que ingresa a la planta cambia sus condiciones como el color, la turbiedad, la temperatura y el caudal que se está tratando, por eso estas pruebas debe realizarse de manera periódica.
- Es necesaria la contratación de personal técnico que vigile la operación de la planta en su totalidad, sobre todo lo referente a preparación de soluciones y reactivos utilizados en el tratamiento del agua, así como los utilizados en el laboratorio.
- Preparar las soluciones tanto de sulfato de aluminio como de polímero con fuerte agitación, ya que la concentración de las mismas puede variar si no se encuentran bien diluidas. Por lo mismo se recomienda mantenerlas en agitación por lo menos 5 minutos cada hora.
- En el caso del hipoclorito de calcio, se recomienda almacenarlo en un lugar seco y fresco que evite en lo posible la descomposición del mismo.
- Es necesario controlar la cantidad de cloro residual presente en el agua, la misma debe estar dentro de la normativa para garantizar así el proceso correcto de desinfección del agua que se va a distribuir a la parroquia.



BIBLIOGRAFÍA

AEA, Asociación Española del Aluminio. (2008). Aluminio y Salud. Abril 2008. Obtenido en: www.asoc-aluminio.es/support/pdf/aluminio-agua-potable.pdf

Aguilar M.I. Sáez J. Lloréns M. Soler A. Ortuño J.F. (2002). Tratamiento Físico – Químico de Aguas Residuales, Coagulación – Floculación. Universidad de Murcia. Primera edición. F.G.GRAF S.L.

Andía, Yolanda. (2000). Tratamiento de agua. Coagulación y floculación. Obtenido en: www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/andia.pdf

AWWA, McGRAW-HILL. (2002). Calidad y Tratamiento del Agua. Traducido de la 5ta edición en inglés de Water Quality and Treatment. Edigrafos, S.A. España.

BVSDE, B. V. (2016). *Capítulo 3*. Obtenido de CLORO: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/fulltext/desinfeccion/capitulo3.pdf>

Casero, David. (2008). EOI, Escuela de Negocios. Potabilización del Agua. Módulo IV: Abastecimientos y Saneamientos Urbanos. Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua. Disponible en: static.eoi.es/savia/documents/componente45469.pdf

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). (2004). Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de Filtración rápida. MANUAL II: Diseño de Plantas de tecnología apropiada.

Chauca Chicaiza, A. F., & Orozco Cantos, L. S. (2012). *Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Obtenido de Diseño e Implementación de un Sistema Automatizado para la Dosificación de Cloro en el Tratamiento de Agua Potable en la Comunidad San Vicente de Lacas.: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1888>

Chulluncuy, Nadia. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. Artículo Revista Ulima. Disponible en: https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/download/232/208

Collin Baird. (2001). Química ambiental. Editorial Reverte S.A.



Comisión Nacional del Agua, CNA. (2007). Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. México. Disponible en: <ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007/Desinfecci%F3n%20para%20Sist>

González, Enith. (2007). Comparación del proceso de desinfección utilizando hipoclorito de calcio (HTH) y el sistema de generación in situ de hipoclorito de sodio. Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Pasantía de Grado para Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Disponible en: <repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14919/41001041.pdf;jsessionid=A3E031E8543A6CF0DC06E0A17B621265?sequence=1>

García, Victor. (2018). Memoria Técnica Remodelación JAPB. Implementacion de un floculador horizontal y un sedimentador de alta tasa.

Gonzalez, M. (s.f.). *INFORME DE LOS SISTEMAS DE CLORACIÓN*. Obtenido de Sistema de Dosificación de Cloro Planta de Filtros Salar del Carmen: <infota.siss.cl/concesiones/empresas/.../6.2.3.5%20Cloraci%F3n/Cloracion.doc>

Hidritec. (2015). *Plantas de dióxido de cloro*. Obtenido de <http://www.hidritec.com/hidritec/plantas-de-dioxido-de-cloro>

INEN. (2014). Agua Potable: Requisitos. Obtenido de NTE INEN 1108: 2014. Quinta Revisión. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1MFXYv4-GdEu6LNDTqhLS8aGgqeBHWCVr/view>

INEN. NTE INEN ISO 7027: 2013 “Calidad del Agua - Determinación de Turbiedad”. Disponible en: 181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_iso_7027.pdf

Yaniris Lorenzo – Acosta. (2006). Estado del Arte del Tratamiento de aguas por coagulación – Floculación. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Disponible en: <www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>

Lozano, W. (2015). *Potabilización del Agua*. (Primera Edición). Bogotá: Universidad Piloto de Colombia

Marín, Rafael. (2003). Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. España. Ediciones Díaz de Santos S.A.



Pérez, Jessica. (2017). Evaluación de la sustitución del agente coagulante – sulfato de aluminio en el proceso actual de coagulación – floculación de agua potable en la empresa EAF SAS ESP. Trabajo de titulación de Ingeniería Química. Fundación Universidad América. Bogotá, Colombia. Disponible en: repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6371/1/6112811-2017-2-IQ.pdf

Restrepo, Hernán. (2009). Evaluación de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Disponible en: www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf

Rodríguez, Carlos. (2008). Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable. Trabajo de grado. Obtenido en: unisucre-repositorio.metabiblioteca.org/bitstream/001/298/2/628.162R696.pdf

Romero, Jairo. (2002). Calidad del agua. Primera Edición. Nomos S.A. Colombia.

Romero, Jairo. (2006). Purificación del Agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería

Sánchez, Francisco. (2007). Tratamientos combinados físico – químicos y de oxidación para la depuración de aguas residuales de la industria corchera. Tesis Doctotal. Universidad de Extremadura. Departamento de Ingeniería Química y Química Física. Disponible en: biblioteca.unex.es/tesis/9788477238171.pdf



ANEXOS

ANEXO I: PROCEDIMIENTOS

Procedimiento para la obtención del tiempo de retención en el vertedero y el canal de alimentación al floculador

MATERIALES

- 1 pelota de plástico

INSTRUMENTOS

- Cronómetro
- Termómetro

PROCEDIMIENTO

- Establecer el caudal de trabajo con el que se realizará la prueba.
- Medir la temperatura del agua.
- Dejar la pelota en el inicio del vertedero, simultáneamente encender el cronómetro.
- Tomar el tiempo que la pelota tarda en recorrer el vertedero.
- Tomar el tiempo que la pelota tarda en recorrer el canal de alimentación al floculador.
- El valor medido en cada punto se escogerá como el tiempo de retención para usar en la prueba de jarras.

Procedimiento de la prueba de trazadores

MATERIALES

- 1 balde grande 5 gal
- 1 palo
- 1 probeta de 1000 ml

REACTIVOS

- 6 kg de NaCl
- 5 L de agua cruda

EQUIPOS E INSTRUMENTOS



- Conductímetro
- Colorímetro HACH 890
- Cronómetro
- Termómetro

PROCEDIMIENTO

- Establecer el caudal de trabajo con el que se realizará la prueba.
- Medir la temperatura del agua.
- Preparar una solución sobresaturada de 6 kg de NaCl en 5 litros de agua cruda, con agitación fuerte para evitar la sedimentación al fondo.
- Dejar caer inmediatamente en la entrada de agua cruda, simultáneamente encender el cronómetro.
- Tomar 10 muestras cada 30 segundos en cada tramo
- Leer sólidos disueltos en todas las muestras con el conductímetro.
- El mayor valor en cada punto se escogerá como el tiempo de retención para usar en la prueba de jarras.

Procedimiento de la prueba de jarras

MATERIALES

- 2 recipientes con tapa de 20 L
- 5 jeringas de 5 ml
- 5 jeringas de 3 ml
- 2 celdas de 25 ml para colorímetro HACH 890

REACTIVOS

- 20 ml de solución de sulfato de aluminio al 2,5%
- 20 ml de solución de polímero a 125 ppm
- 20 ml de reactivo rojo fenol para pH

EQUIPOS E INSTRUMENTOS

- Colorímetro HACH 890
- Cronómetro

PROCEDIMIENTO



- Tomar la muestra de agua cruda a la entrada del vertedero, aproximadamente 30 litros.
- Realizar las mediciones iniciales de turbiedad, color, pH.
- Colocar el agua cruda en las seis jarras hasta la marca de 2 litros.
- Medir en las jeringas la dosis de Sulfato de Aluminio y de polímero a aplicar a cada jarra.
- Encender el equipo, 1,5 segundos a 300 RPM y añadir la dosis respectiva a cada jarra.
- Agitar durante 5 segundos a 100 RPM.
- Agitar durante 5 minutos a 60 RPM. Adicionar la dosis de polímero en el minuto tres.
- Agitar durante 7 minutos a 32 RPM.
- Agitar durante 12 minutos a 20 RPM.
- Mantener a 0 RPM durante 17 minutos.
- Tomar muestras de las 6 jarras y realizar las mediciones de turbiedad, color.
- Con los resultados de las mediciones definimos las dosis óptimas de sulfato de aluminio y polímero, tomando en cuenta la mayor disminución de color y turbiedad obtenidos, y la neutralidad del pH.

Procedimiento de medición de caudal de una válvula de dosificación

MATERIALES

- 1 balde grande 5 gal
- 1 probeta 1000 ml

INSTRUMENTOS

- Cronómetro

PROCEDIMIENTO

- Girar la apertura requerida en la válvula de dosificación.
- Recibir en el recipiente la solución del dosificador y simultáneamente encender el cronómetro.
- Recoger la solución durante un minuto.
- Medir el volumen obtenido con la probeta y registrar.
- Repetir el procedimiento con otra apertura.



ANEXO II: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TRAZADORES

Mezcla rápida vertedero

Tiempo de retención = 1,5 s

Mezcla rápida entrada del floculador

Tiempo de retención = 5 s

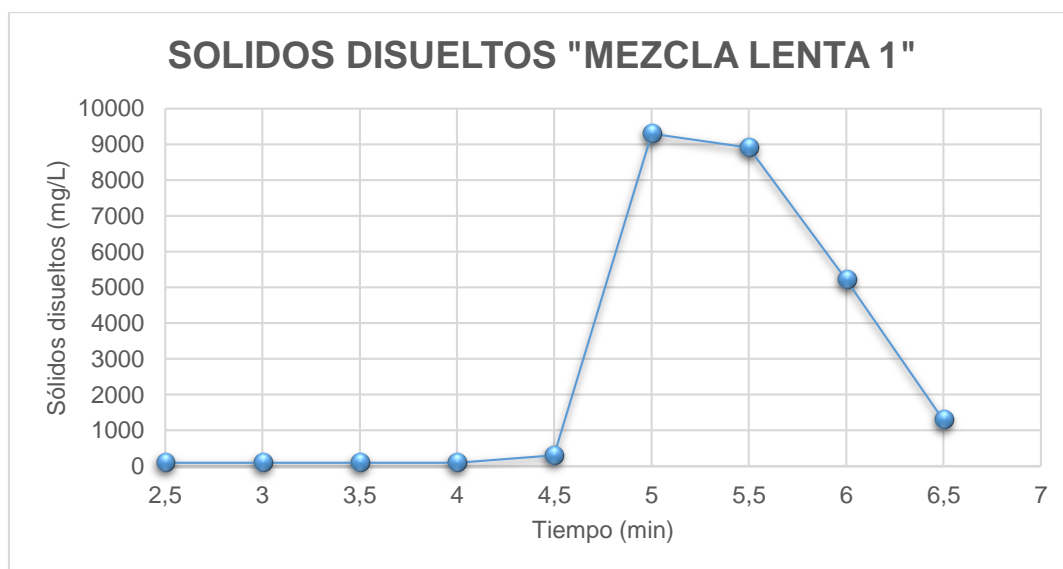
Mezcla lenta 1

Tiempo de retención = 5 min

Tabla 10. Resultados de la prueba de trazadores en la mezcla lenta 1

TIEMPO (min)	SOLIDOS DISUELTOS (mg/L)
2,5	90,9
3	93,4
3,5	92,1
4	89,9
4,5	295
5	9300
5,5	8910
6	5210
6,5	1290

Fuente: Autoras



Gráfica 2. Resultados de la prueba de trazadores en mezcla lenta 1
Fuente: Autoras

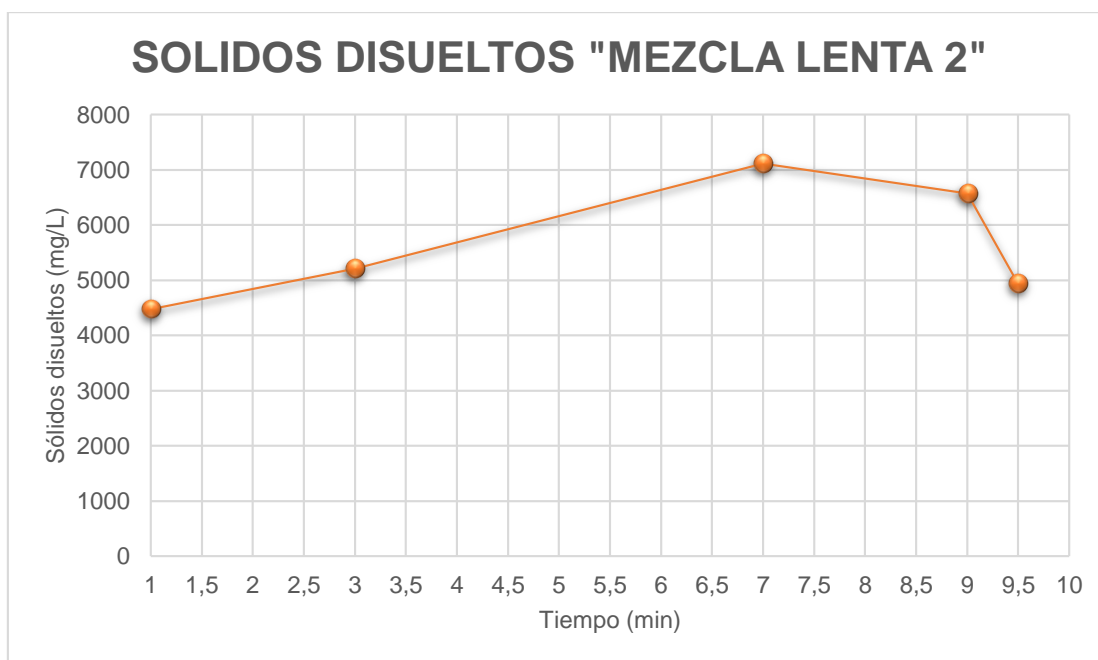
Mezcla lenta 2

Tiempo de retención = 7 min

Tabla 11. Resultados de la prueba de trazadores en la mezcla lenta 2

TIEMPO (min)	SOLIDOS DISUELTOS (mg/L)
1	4475
3	5210
7	7110
9	6570
9,5	4940
10	2710

Fuente: Autoras



Gráfica 3. Resultados de la prueba de trazadores en la mezcla lenta 2
Fuente: Autoras

Mezcla lenta 3

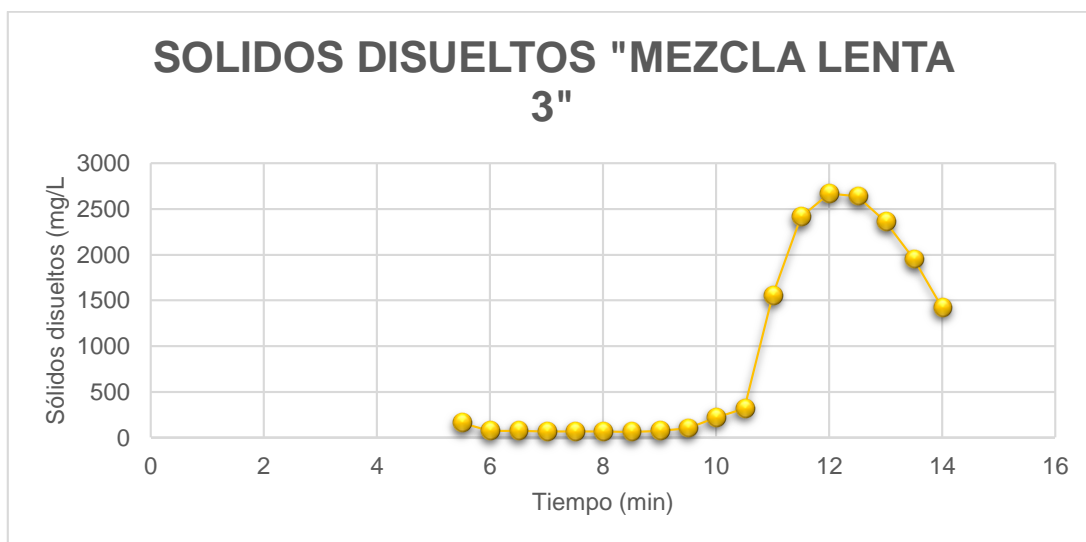
Tiempo de retención = 12 min

Tabla 12. Resultados de la prueba de trazadores en la mezcla lenta 3

TIEMPO (min)	SOLIDOS DISUELTOS (mg/L)
5,5	159,9
6	73,5
6,5	72,1
7	64,5
7,5	68,5
8	66,3
8,5	61,6
9	70,4
9,5	102
10	218

10,5	318
11	1552
11,5	2410
12	2670
12,5	2640
13	2360
13,5	1952
14	1418

Fuente: Autoras



Gráfica 4. Resultados de la prueba de trazadores en la mezcla lenta 3
Fuente: Autoras

Sedimentación

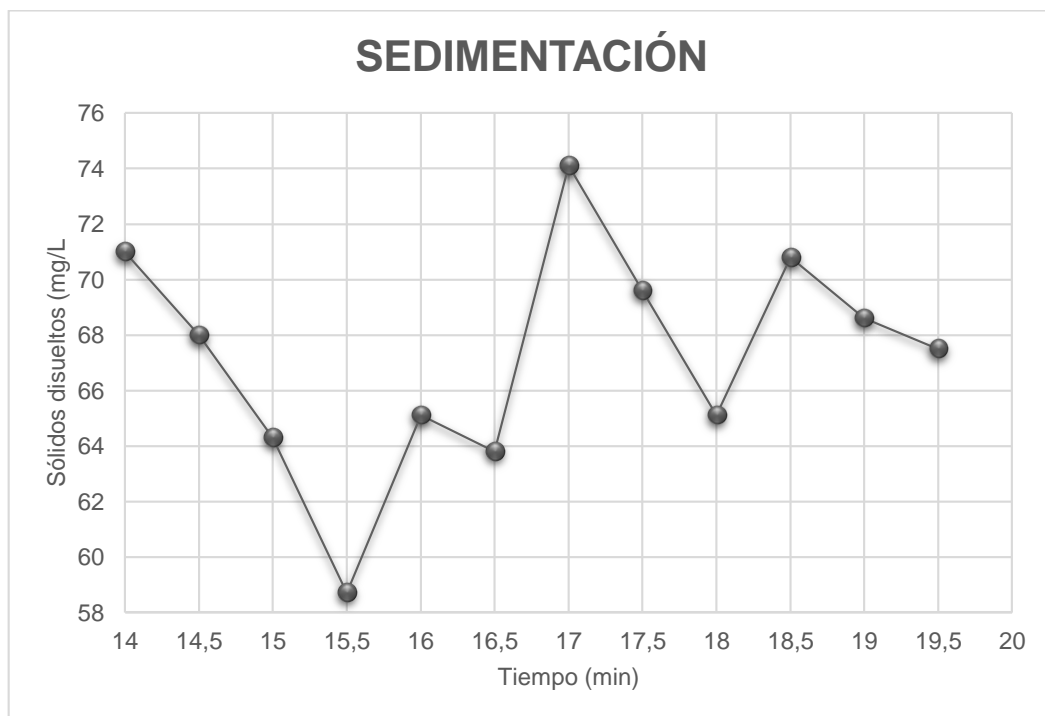
Tiempo de retención = 17 min

Tabla 13. Resultados de la prueba de trazadores en la sedimentación

TIEMPO (min)	SOLIDOS DISUELTOS (mg/L)
14	71
14,5	68
15	64,3

15,5	58,7
16	65,1
16,5	63,8
17	74,1
17,5	69,6
18	65,1
18,5	70,8
19	68,6
19,5	67,5

Fuente: Autoras



Gráfica 5. Resultados de la prueba de trazadores en la sedimentación

Fuente: Autoras

ANEXO III: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE JARRAS

Tabla 14. Resultados de la prueba de jarras con sulfato de aluminio

21-dic		SULFATO DE ALUMINIO				
VALORES INICIALES		JARRA	PATRONES	COLOR	TURBIEDAD	pH
Color	207	1	15 ppm	195	19	7,2
Turbiedad	15	2	20 ppm	226	19	6,9
pH	7,6	3	25 ppm	151	12	7
		4	30 ppm	92	5	6,8
		5	35 ppm	112	10	6,9
		6	40 ppm	121	10	6,8

Fuente: Autoras

Tabla 15. Resultados de la prueba de jarras con polímero y sulfato de aluminio a 30 ppm

21-dic		POLIMERO + SULFATO DE ALUMINIO 30 ppm				
VALORES INICIALES		JARRA	PATRONES	COLOR	TURBIEDAD	pH
Color	207	1	0,01 ppm	89	3	7,5
Turbiedad	15	2	0,03 ppm	111	15	7,7
pH	7,6	3	0,05 ppm	163	20	7,5
		4	0,07 ppm	198	24	7,8
		5	0,09 ppm	172	20	7,9
		6	0,11 ppm	175	20	7,6

Fuente: Autoras

Tabla 16. Resultados de la prueba de jarras con sulfato de aluminio

15-ene		SULFATO DE ALUMINIO				
VALORES INICIALES		JARRA	PATRONES	COLOR	TURBIEDAD	pH
Color	144	1	15 ppm	181	15	6,6
Turbiedad	11	2	20 ppm	128	16	6,7
pH	7,4	3	25 ppm	93	11	6,6
		4	30 ppm	99	9	6,6
		5	35 ppm	105	12	6,4
		6	40 ppm	187	28	6,7

Fuente: Autoras

Tabla 17. Resultados de la prueba de jarras con polímero y sulfato de aluminio a 25 ppm



15-ene		POLIMERO + SULFATO DE ALUMINIO 25 ppm				
VALORES INICIALES		JARRA	PATRONES	COLOR	TURBIEDAD	pH
Color	144	1	0,005 ppm	104	3	7,5
Turbiedad	11	2	0,01 ppm	95	4	7,7
pH	7,4	3	0,015 ppm	159	20	7,5
		4	0,020ppm	192	24	7,8
		5	0,025 ppm	165	20	7,9
		6	0,03 ppm	170	20	7,6

Fuente: Autoras

Tabla 18. Resultados de la prueba de jarras con sulfato de aluminio

16-ene		SULFATO DE ALUMINIO				
VALORES INICIALES		JARRA	PATRONES	COLOR	TURBIEDAD	pH
Color	176	1	17,5 ppm	178	28	7
Turbiedad	20	2	20 ppm	126	8	6,7
pH	7,5	3	22,5 ppm	108	16	6,8
		4	25 ppm	112	9	7,2
		5	27,5 ppm	109	14	6,6
		6	30 ppm	91	11	6,6

Fuente: Autoras

Tabla 19. Resultados de la prueba de jarras con polímero y sulfato de aluminio a 30 ppm

16-ene		POLIMERO + SULFATO DE ALUMINIO 30 ppm				
VALORES INICIALES		JARRA	PATRONES	COLOR	TURBIEDAD	pH
Color	176	1	0,005 ppm	104	3	7,5
Turbiedad	20	2	0,01 ppm	95	4	7,7
pH	7,5	3	0,015 ppm	159	20	7,5
		4	0,020ppm	192	24	7,8
		5	0,025 ppm	165	20	7,9
		6	0,03 ppm	170	20	7,6

Fuente: Autoras

Tabla 20. Resultados de la prueba de jarras con sulfato de aluminio

04-feb		SULFATO DE ALUMINIO				
--------	--	---------------------	--	--	--	--

VALORES INICIALES		JARRA	PATRONES	COLOR	TURBIEDAD	pH
Color	520	1	40 ppm	585	150	7,3
Turbiedad	107	2	50 ppm	570	91	7
pH	7,7	3	60 ppm	541	75	6,9
		4	70 ppm	565	81	6,9
		5	80 ppm	424	50	6,7
		6	90 ppm	324	40	6,6

Fuente: Autoras

Tabla 21. Resultados de la prueba de jarras con polímero y sulfato de aluminio a 90 ppm

04-feb		POLÍMERO + SULFATO DE ALUMINIO 90 ppm				
VALORES INICIALES		JARRA	PATRONES	COLOR	TURBIEDAD	pH
Color	520	1	0,5 ppm	518	69	7,6
Turbiedad	107	2	0,1 ppm	440	41	7,5
pH	7,7	3	0,15 ppm	361	40	7,5
		4	0,20 ppm	440	62	7,5
		5	0,25 ppm	389	49	7,3
		6	0,30 ppm	371	52	7,4

Fuente: Autoras

Tabla 22. Resultados de la prueba de jarras con sulfato de aluminio

05-feb		SULFATO DE ALUMINIO				
VALORES INICIALES		JARRA	PATRONES	COLOR	TURBIEDAD	pH
Color	1650	1	85 ppm	490	108	7,2
Turbiedad	690	2	100 ppm	210	37	6,6
pH	8,7	3	115 ppm	188	36	6,6
		4	130 ppm	164	22	6,5
		5	145 ppm	273	19	6,5
		6	160 ppm	186	26	6,5

Fuente: Autoras

Tabla 23. Resultados de la prueba de jarras con polímero y sulfato de aluminio a 130 ppm

05-feb		POLÍMERO + SULFATO DE ALUMINIO 130 ppm				
VALORES INICIALES		JARRA	PATRONES	COLOR	TURBIEDAD	pH
Color	1650	1	0,5 ppm	650	87	6,6



Turbiedad	690	2	1 ppm	139	21	6,4
pH	8,7	3	1,5 ppm	139	2	6,4
		4	2 ppm	142	0	6,3
		5	2,5 ppm	90	11	6,3
		6	3 ppm	93	3	6,2

Fuente: Autoras

Tabla 24. Dosis óptimas de sulfato de aluminio

SULFATO [ppm]	Color
25	144
30	176
30	207
90	520
130	1650

Fuente: Autoras

Tabla 25. Dosis óptimas de polímero

POLIMERO [ppm]	Color
0,01	144
0,01	176
0,01	207
0,15	520
3	1650

Fuente: Autoras

**ANEXO IV: CAUDAL Y NÚMERO DE VUELTAS DEL DOSIFICADOR DE SULFATO DE ALUMINIO***Tabla 26. Dosificación de sulfato de aluminio*

# Vueltas	Caudal [cc/min]	# Vueltas	Caudal [cc/min]	# Vueltas	CAUDAL [cc/min]	# Vueltas	Caudal [cc/min]
1/4	635	8 1/4	2310	16 1/4	4000	24 1/4	5695
1/2	670	8 1/2	2390	16 1/2	4065	24 1/2	5740
3/4	710	8 3/4	2445	16 3/4	4120	24 3/4	5790
1	750	9	2500	17	4175	25	5845
1 1/4	785	9 1/4	2565	17 1/4	4215	25 1/4	5900
1 1/2	810	9 1/2	2610	17 1/2	4260	25 1/2	5960
1 3/4	850	9 3/4	2675	17 3/4	4300	25 3/4	6070
2	900	10	2725	18	4355	26	6150
2 1/4	945	10 1/4	2780	18 1/4	4410	26 1/4	6210
2 1/2	980	10 1/2	2830	18 1/2	4470	26 1/2	6290
2 3/4	1000	10 3/4	2895	18 3/4	4530	26 3/4	6330
3	1100	11	2945	19	4585	27	6380
3 1/4	1140	11 1/4	2990	19 1/4	4625	27 1/4	6440
3 1/2	1180	11 1/2	3040	19 1/2	4675	27 1/2	6480
3 3/4	1210	11 3/4	3075	19 3/4	4740	27 3/4	6520
4	1350	12	3140	20	4795	28	6580
4 1/4	1420	12 1/4	3190	20 1/4	4830	28 1/4	6630
20 1/2	1495	12 1/2	3235	20 1/2	4880	28 1/2	6670
4 3/4	1530	12 3/4	3290	20 3/4	4920	28 3/4	6710
5	1600	13	3325	21	4965	29	6760
5 1/4	1670	13 1/4	3365	21 1/4	5060	29 1/4	6820
5 1/2	1700	13 1/2	3400	21 1/2	5120	29 1/2	6850
5 3/4	1755	13 3/4	3460	21 3/4	5175	29 3/4	6900
6	1810	14	3500	22	5235	30	6940
6 1/4	1880	14 1/4	3560	22 1/4	5280	30 1/4	6990
6 1/2	1935	14 1/2	3600	22 1/2	5315	30 1/2	7040
6 3/4	1990	14 3/4	3645	22 3/4	5360	30 3/4	7100
7	2040	15	3710	23	5410	31	7160
7 1/4	2085	15 1/4	3765	23 1/4	5465	31 1/4	7200
7 1/2	2135	15 1/2	3830	23 1/2	5520	31 1/2	7250
7 3/4	2180	15 3/4	3885	23 3/4	5585	31 3/4	7290
8	2250	16	3945	24	5630	32	7340

Fuente: Autoras



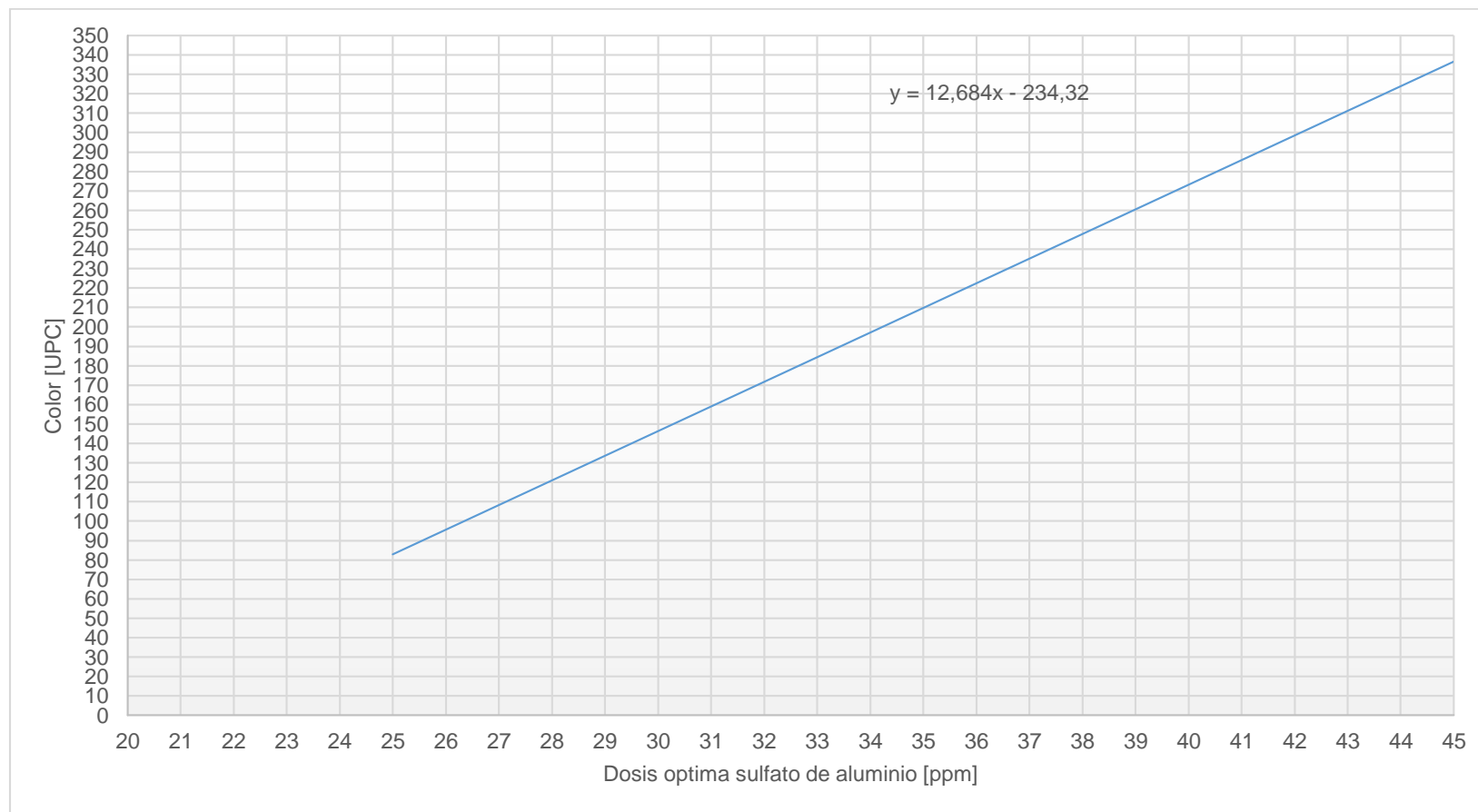
ANEXO V: CAUDAL Y NÚMERO DE VUELTAS DEL DOSIFICADOR DE POLÍMERO

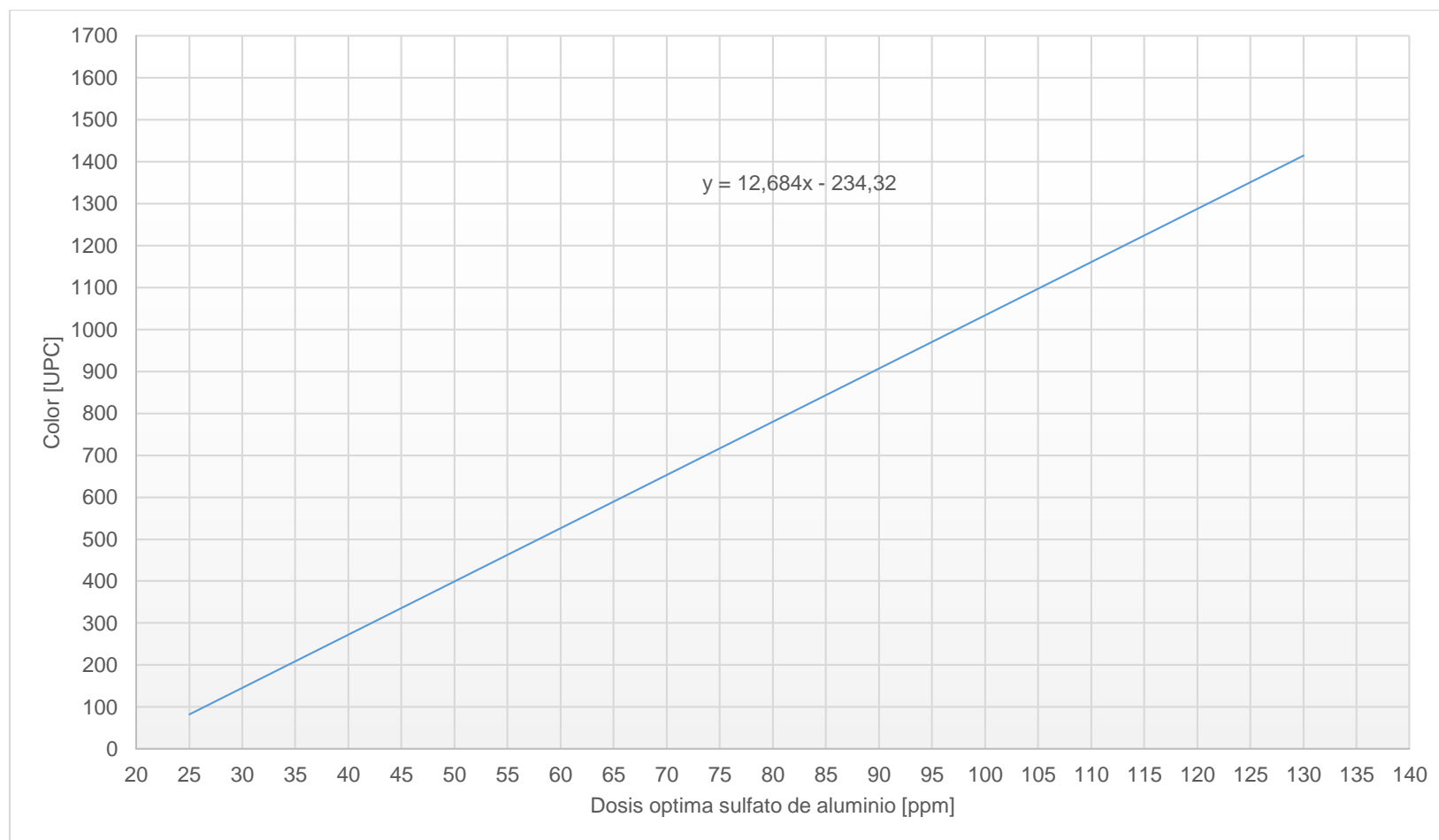
Tabla 27. Dosificación de polímero

# Vueltas	Caudal [cc/min]
1/8	275
1/4	580
3/8	730
1/2	1360



ANEXO VI: CURVA DE DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO





Gráfica 7. Curva de dosificación de sulfato de aluminio desde 0 UPC hasta 1700 UPC
Fuente: Autoras



ANEXO VII: CAUDAL DE DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO

Tabla 28. Caudal de dosificación de sulfato de aluminio según el caudal de operación

	CAUDAL DE DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO [L/min]															
	CAUDAL DE OPERACIÓN [L/s]															
DOSIS [mg/L]	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
15	0,18	0,22	0,25	0,29	0,32	0,36	0,40	0,43	0,47	0,50	0,54	0,58	0,61	0,65	0,68	0,72
16	0,19	0,23	0,27	0,31	0,35	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,61	0,65	0,69	0,73	0,77
18	0,22	0,26	0,30	0,35	0,39	0,43	0,48	0,52	0,56	0,60	0,65	0,69	0,73	0,78	0,82	0,86
20	0,24	0,29	0,34	0,38	0,43	0,48	0,53	0,58	0,62	0,67	0,72	0,77	0,82	0,86	0,91	0,96
22	0,26	0,32	0,37	0,42	0,48	0,53	0,58	0,63	0,69	0,74	0,79	0,84	0,90	0,95	1,00	1,06
24	0,29	0,35	0,40	0,46	0,52	0,58	0,63	0,69	0,75	0,81	0,86	0,92	0,98	1,04	1,09	1,15
26	0,31	0,37	0,44	0,50	0,56	0,62	0,69	0,75	0,81	0,87	0,94	1,00	1,06	1,12	1,19	1,25
28	0,34	0,40	0,47	0,54	0,60	0,67	0,74	0,81	0,87	0,94	1,01	1,08	1,14	1,21	1,28	1,34
30	0,36	0,43	0,50	0,58	0,65	0,72	0,79	0,86	0,94	1,01	1,08	1,15	1,22	1,30	1,37	1,44
32	0,38	0,46	0,54	0,61	0,69	0,77	0,84	0,92	1,00	1,08	1,15	1,23	1,31	1,38	1,46	1,54
34	0,41	0,49	0,57	0,65	0,73	0,82	0,90	0,98	1,06	1,14	1,22	1,31	1,39	1,47	1,55	1,63
36	0,43	0,52	0,60	0,69	0,78	0,86	0,95	1,04	1,12	1,21	1,30	1,38	1,47	1,56	1,64	1,73
38	0,46	0,55	0,64	0,73	0,82	0,91	1,00	1,09	1,19	1,28	1,37	1,46	1,55	1,64	1,73	1,82
40	0,48	0,58	0,67	0,77	0,86	0,96	1,06	1,15	1,25	1,34	1,44	1,54	1,63	1,73	1,82	1,92
42	0,50	0,60	0,71	0,81	0,91	1,01	1,11	1,21	1,31	1,41	1,51	1,61	1,71	1,81	1,92	2,02
44	0,53	0,63	0,74	0,84	0,95	1,06	1,16	1,27	1,37	1,48	1,58	1,69	1,80	1,90	2,01	2,11
46	0,55	0,66	0,77	0,88	0,99	1,10	1,21	1,32	1,44	1,55	1,66	1,77	1,88	1,99	2,10	2,21



Universidad de Cuenca

48	0,58	0,69	0,81	0,92	1,04	1,15	1,27	1,38	1,50	1,61	1,73	1,84	1,96	2,07	2,19	2,30
50	0,60	0,72	0,84	0,96	1,08	1,20	1,32	1,44	1,56	1,68	1,80	1,92	2,04	2,16	2,28	2,40
52	0,62	0,75	0,87	1,00	1,12	1,25	1,37	1,50	1,62	1,75	1,87	2,00	2,12	2,25	2,37	2,50
54	0,65	0,78	0,91	1,04	1,17	1,30	1,43	1,56	1,68	1,81	1,94	2,07	2,20	2,33	2,46	2,59
56	0,67	0,81	0,94	1,08	1,21	1,34	1,48	1,61	1,75	1,88	2,02	2,15	2,28	2,42	2,55	2,69
58	0,70	0,84	0,97	1,11	1,25	1,39	1,53	1,67	1,81	1,95	2,09	2,23	2,37	2,51	2,64	2,78
60	0,72	0,86	1,01	1,15	1,30	1,44	1,58	1,73	1,87	2,02	2,16	2,30	2,45	2,59	2,74	2,88
62	0,74	0,89	1,04	1,19	1,34	1,49	1,64	1,79	1,93	2,08	2,23	2,38	2,53	2,68	2,83	2,98
64	0,77	0,92	1,08	1,23	1,38	1,54	1,69	1,84	2,00	2,15	2,30	2,46	2,61	2,76	2,92	3,07
66	0,79	0,95	1,11	1,27	1,43	1,58	1,74	1,90	2,06	2,22	2,38	2,53	2,69	2,85	3,01	3,17
68	0,82	0,98	1,14	1,31	1,47	1,63	1,80	1,96	2,12	2,28	2,45	2,61	2,77	2,94	3,10	3,26
70	0,84	1,01	1,18	1,34	1,51	1,68	1,85	2,02	2,18	2,35	2,52	2,69	2,86	3,02	3,19	3,36
72	0,86	1,04	1,21	1,38	1,56	1,73	1,90	2,07	2,25	2,42	2,59	2,76	2,94	3,11	3,28	3,46
74	0,89	1,07	1,24	1,42	1,60	1,78	1,95	2,13	2,31	2,49	2,66	2,84	3,02	3,20	3,37	3,55
76	0,91	1,09	1,28	1,46	1,64	1,82	2,01	2,19	2,37	2,55	2,74	2,92	3,10	3,28	3,47	3,65
78	0,94	1,12	1,31	1,50	1,68	1,87	2,06	2,25	2,43	2,62	2,81	3,00	3,18	3,37	3,56	3,74
80	0,96	1,15	1,34	1,54	1,73	1,92	2,11	2,30	2,50	2,69	2,88	3,07	3,26	3,46	3,65	3,84
82	0,98	1,18	1,38	1,57	1,77	1,97	2,16	2,36	2,56	2,76	2,95	3,15	3,35	3,54	3,74	3,94
84	1,01	1,21	1,41	1,61	1,81	2,02	2,22	2,42	2,62	2,82	3,02	3,23	3,43	3,63	3,83	4,03
86	1,03	1,24	1,44	1,65	1,86	2,06	2,27	2,48	2,68	2,89	3,10	3,30	3,51	3,72	3,92	4,13
88	1,06	1,27	1,48	1,69	1,90	2,11	2,32	2,53	2,75	2,96	3,17	3,38	3,59	3,80	4,01	4,22
90	1,08	1,30	1,51	1,73	1,94	2,16	2,38	2,59	2,81	3,02	3,24	3,46	3,67	3,89	4,10	4,32



Universidad de Cuenca

92	1,10	1,32	1,55	1,77	1,99	2,21	2,43	2,65	2,87	3,09	3,31	3,53	3,75	3,97	4,20	4,42
94	1,13	1,35	1,58	1,80	2,03	2,26	2,48	2,71	2,93	3,16	3,38	3,61	3,84	4,06	4,29	4,51
96	1,15	1,38	1,61	1,84	2,07	2,30	2,53	2,76	3,00	3,23	3,46	3,69	3,92	4,15	4,38	4,61
98	1,18	1,41	1,65	1,88	2,12	2,35	2,59	2,82	3,06	3,29	3,53	3,76	4,00	4,23	4,47	4,70
100	1,20	1,44	1,68	1,92	2,16	2,40	2,64	2,88	3,12	3,36	3,60	3,84	4,08	4,32	4,56	4,80
102	1,22	1,47	1,71	1,96	2,20	2,45	2,69	2,94	3,18	3,43	3,67	3,92	4,16	4,41	4,65	4,90
104	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,24	3,49	3,74	3,99	4,24	4,49	4,74	4,99
106	1,27	1,53	1,78	2,04	2,29	2,54	2,80	3,05	3,31	3,56	3,82	4,07	4,32	4,58	4,83	5,09
108	1,30	1,56	1,81	2,07	2,33	2,59	2,85	3,11	3,37	3,63	3,89	4,15	4,41	4,67	4,92	5,18
110	1,32	1,58	1,85	2,11	2,38	2,64	2,90	3,17	3,43	3,70	3,96	4,22	4,49	4,75	5,02	5,28
112	1,34	1,61	1,88	2,15	2,42	2,69	2,96	3,23	3,49	3,76	4,03	4,30	4,57	4,84	5,11	5,38
114	1,37	1,64	1,92	2,19	2,46	2,74	3,01	3,28	3,56	3,83	4,10	4,38	4,65	4,92	5,20	5,47
116	1,39	1,67	1,95	2,23	2,51	2,78	3,06	3,34	3,62	3,90	4,18	4,45	4,73	5,01	5,29	5,57
118	1,42	1,70	1,98	2,27	2,55	2,83	3,12	3,40	3,68	3,96	4,25	4,53	4,81	5,10	5,38	5,66
120	1,44	1,73	2,02	2,30	2,59	2,88	3,17	3,46	3,74	4,03	4,32	4,61	4,90	5,18	5,47	5,76
122	1,46	1,76	2,05	2,34	2,64	2,93	3,22	3,51	3,81	4,10	4,39	4,68	4,98	5,27	5,56	5,86
124	1,49	1,79	2,08	2,38	2,68	2,98	3,27	3,57	3,87	4,17	4,46	4,76	5,06	5,36	5,65	5,95
126	1,51	1,81	2,12	2,42	2,72	3,02	3,33	3,63	3,93	4,23	4,54	4,84	5,14	5,44	5,75	6,05
128	1,54	1,84	2,15	2,46	2,76	3,07	3,38	3,69	3,99	4,30	4,61	4,92	5,22	5,53	5,84	6,14
130	1,56	1,87	2,18	2,50	2,81	3,12	3,43	3,74	4,06	4,37	4,68	4,99	5,30	5,62	5,93	6,24
132	1,58	1,90	2,22	2,53	2,85	3,17	3,48	3,80	4,12	4,44	4,75	5,07	5,39	5,70	6,02	6,34
134	1,61	1,93	2,25	2,57	2,89	3,22	3,54	3,86	4,18	4,50	4,82	5,15	5,47	5,79	6,11	6,43



Universidad de Cuenca

136	1,63	1,96	2,28	2,61	2,94	3,26	3,59	3,92	4,24	4,57	4,90	5,22	5,55	5,88	6,20	6,53
138	1,66	1,99	2,32	2,65	2,98	3,31	3,64	3,97	4,31	4,64	4,97	5,30	5,63	5,96	6,29	6,62
140	1,68	2,02	2,35	2,69	3,02	3,36	3,70	4,03	4,37	4,70	5,04	5,38	5,71	6,05	6,38	6,72
142	1,70	2,04	2,39	2,73	3,07	3,41	3,75	4,09	4,43	4,77	5,11	5,45	5,79	6,13	6,48	6,82
144	1,73	2,07	2,42	2,76	3,11	3,46	3,80	4,15	4,49	4,84	5,18	5,53	5,88	6,22	6,57	6,91
146	1,75	2,10	2,45	2,80	3,15	3,50	3,85	4,20	4,56	4,91	5,26	5,61	5,96	6,31	6,66	7,01
148	1,78	2,13	2,49	2,84	3,20	3,55	3,91	4,26	4,62	4,97	5,33	5,68	6,04	6,39	6,75	7,10
150	1,80	2,16	2,52	2,88	3,24	3,60	3,96	4,32	4,68	5,04	5,40	5,76	6,12	6,48	6,84	7,20

Fuente: Autoras



ANEXO VIII: DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO SEGÚN EL NÚMERO DE VUELTAS DEL DOSIFICADOR

Tabla 29. Dosis de sulfato de aluminio expresado en número de vueltas

DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO POR NÚMERO DE VUELTAS											
	Caudal de operación L/s										
Dosis mg/L	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
20	1/4	1/4	1/4	1/4	1/2	3/4	1	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4
30	3/4	1 1/4	1 3/4	2 1/4	2 3/4	3	3 1/4	3 3/4	4	4	4 1/4
40	2 1/4	3	3 1/4	3 3/4	4	4 1/4	4 3/4	5	5 3/4	6	6 3/4
50	3 3/4	4	4 1/4	4 3/4	5 1/4	6	6 1/2	7	7 3/4	8	8 1/2
60	4 1/4	5	5 3/4	6 1/4	6 3/4	7	8 1/4	8 3/4	9 1/2	10	10 3/4
70	5 1/4	6 1/4	7	7 3/4	8 1/4	9	9 3/4	10 1/2	11 1/2	12 1/4	13 1/4
80	6 1/2	7 1/2	8 1/4	9	9 3/4	10 3/4	11 3/4	12 1/2	13 3/4	14 3/4	15 1/2
90	7 1/2	8 1/2	9 1/2	10 1/2	11 1/2	12 1/2	13 3/4	14 3/4	15 3/4	16 3/4	17 3/4
100	8 1/2	9 3/4	10 3/4	12	13 1/4	14 1/2	15 1/2	16 1/2	17 3/4	18	20 1/2
110	9 3/4	10 3/4	12	13 1/2	15	16	17 1/4	18 1/2	19 3/4	21	22 1/4
120	10 3/4	12	13 3/4	15 1/4	16 1/2	17 1/4	19 1/4	20 1/2	21 3/4	23 1/4	24 1/2
130	12	13 1/2	15 1/4	16 1/2	18	19 1/2	21	22 1/2	24	25 1/4	26 1/4
140	13 1/4	15	16 1/4	18	19 3/4	21 1/4	22 3/4	24 1/4	25 3/4	27	28 3/4
150	14 1/2	16	17 3/4	19 1/2	21 1/4	23	24 1/2	26	27 1/2	29 1/2	31 1/4

Fuente: Autoras



ANEXO IX: DOSIFICACIÓN DE POLÍMERO SEGÚN EL NÚMERO DE VUELTAS DEL DOSIFICADOR

Tabla 30. Dosis de polímero expresado en número de vueltas

DOSIFICACIÓN DE POLÍMERO POR NÚMERO DE VUELTAS											
CAUDAL DE OPERACIÓN											
DOSIS [mg/L]	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,01	1/8	1/4	1/4	1/4	1/4	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2
0,2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8
0,4	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4

Fuente: Autoras



ANEXO X: COSTO DEL EQUIPO DE CLORO GAS

Tabla 31. Costo de la implementación del equipo de cloro gas

ELEMENTO	PRECIO UNITARIO [\$]	CANTIDAD	PRECIO TOTAL [\$]
Analizador de cloro libre residual	3670	1	3670
Clorinador operado por vacío	1670	2	3340
Bomba de refuerzo	290	1	290
Bomba sumergible para muestreo	250	1	250
Válvula automática y controlador de cloro gas	3050	1	3050
Cilindro de cloro gas	900	2	1800
UPS de 1000 Va	650	2	1300
Manguera 3/8" para conducción de cloro gas	1,12	15	16,8
Tubo PVC25mm X 6m 1,25MPa(181psi)	3,75	8	30
Codo PVC 25mm X 90°	0,15	15	2,25



Universidad de Cuenca

Unión CC EC 25mm	0,48	10	4,8
Unión universal roscable 1"	1,9	7	13,3
Unión roscable 1"	0,8	9	7,2
Reductor 1 Flex 2" A 1"	3,89	1	3,89
Filtro Tipo Y de Bronce 1"	4	2	8
Válvula check 1"	17	1	17
Válvula reguladora de presión 1", máx. 30 psi	27,9	1	27,9
Válvula de pie de 1"	8	1	8
Pegamento para PVC	2,75	3	8,25
Teflón de 20 mm	0,55	4	2,2
Cable eléctrico concéntrico de tres hilos #16	1,29	6	7,74
Sensor de nivel tipo flotador	25	2	50
TOTAL			13907,33

Fuente: Autoras